Department of Finance
Ministère des Finances

Working Paper
Document de travail

Contrôle des émissions de GES à l'aide d'un système de permis échangeables avec allocation basée sur la production

Une analyse en équilibre général dynamique*

par

Yazid Dissou** et Véronique Robichaud***

Document de travail 2003-18

* Nous tenons à remercier, sans les impliquer, Paul-Henri Lapointe, Benoît Robidoux, Jeremy Rudin et Tim Sargent, les participants à divers séminaires tenus au Ministère des Finances du Canada, ainsi que les lecteurs anonymes de divers ministères et organismes fédéraux pour leurs commentaires et suggestions. Les points de vue exprimés dans ce document ne reflètent que ceux des auteurs; ils ne doivent en aucun cas être attribués ni au Ministère des Finances du Canada ni au Gouvernement du Canada.

** Courriel : dissou.yazid@fin.gc.ca

*** Cette étude a été réalisée lorsque Véronique Robichaud travaillait au Ministère des Finances du Canada.

Working Papers *are circulated in the language of preparation only, to make analytical work undertaken by the staff of the Department of Finance available to a wider readership. The paper reflects the views of the authors and no responsibility for them should be attributed to the Department of Finance. Comments on the working papers are invited and may be sent to the author(s).*

Les **Documents de travail** *sont distribués uniquement dans la langue dans laquelle ils ont été rédigés, afin de rendre le travail d'analyse entrepris par le personnel du Ministère des Finances accessible à un lectorat plus vaste. Les opinions qui sont exprimées sont celles des auteurs et n'engagent pas le Ministère des Finances. Nous vous invitons à commenter les documents de travail et à faire parvenir vos commentaires aux auteurs.*

Contrôle des émissions de GES à l'aide d'un système de permis échangeables avec allocation basée sur la production

Une analyse en équilibre général dynamique

Yazid Dissou et Véronique Robichaud

Résumé

Ce texte documente un nouveau modèle d'équilibre général, MCEGI (Modèle canadien d'équilibre général inter-temporel), conçu pour analyser l'impact économique des mesures de réduction des gaz à effet de serre (GES) au Canada. Nous utilisons le modèle pour évaluer le 'plan de référence' suggéré par le gouvernement pour atteindre les objectifs de Kyoto au Canada. Bien que le plan de référence soit différent du plan officiel du Canada sur les changements climatiques, il utilise les mêmes instruments que ce dernier. La spécification de MCEGI permet de bien prendre en compte une des particularités importantes du plan de référence qu'est l'utilisation d'un système de permis échangeables avec allocation basée sur la production. Nous évaluons les impacts agrégés et sectoriels à court et long termes du plan de référence en présence et en l'absence de rigidité salariale sur le marché du travail.

Abstract

This paper presents a new general equilibrium model, CIGMa (Canadian Intertemporal General equilibrium Model) designed to analyse the economic impact of greenhouse gas (GHG) abatement measures in Canada. We use the model to examine the so-called 'reference policy package' devised by the government to achieve Kyoto objectives in Canada. Although the reference policy package is different from the Canadian official climate change plan, they use both the same set of policy instruments. Given its specification, CIGMa is particularly well suited for the analysis of a peculiar feature of the reference policy package, which is the output-based emissions trading scheme. We assess the short- and long-run aggregate and sectoral impacts of the reference policy package in two different labour market settings, i.e., with and without wage rigidities.

Nos de classification JEL: C68, D58, D90, H23, Q43, Q48

Mots clés : Équilibre général dynamique, permis échangeables, allocation de permis basée sur la production, contrôle des émissions, Kyoto.

1 - Introduction

Ce document analyse les implications économiques potentielles de la réduction des gaz à effet de serre (GES) au Canada, en utilisant l'approche suggérée dans le Plan de Référence sur le Changement Climatique. Ce plan de référence, qui est différent (mais proche) du plan officiel du Canada sur les changements climatiques, contient un bouquet de mesures destinées à réduire les émissions de GES en vue de satisfaire aux objectifs de Kyoto au Canada[1]. Plusieurs études, utilisant divers instruments, ont été menées au cours des dernières années sur les coûts économiques potentiels d'une politique de réduction des GES au Canada. Ab Iorwerth et al. (2000), Bagnoli (2001), Dissou MacLeod et Souissi (2002), Gouvernement du Canada (2002a), Loulou et Kanudia (1999) et Wigle (2001) constituent quelques exemples parmi tant d'autres. Les instruments de contrôle des GES peuvent être classés en deux groupes: a) les instruments de marché, tels que une taxe sur le carbone et des permis échangeables; b) les instruments de réglementation, tels que l'instauration de normes de performance sur les émissions.

La plupart des économistes tendent à préférer les instruments de marché aux instruments de réglementation, parce que les premiers permettent d'atteindre les objectifs fixés au moindre coût économique. Toutefois, l'utilisation des instruments de marché peut augmenter les coûts de production de façon substantielle dans certaines industries[2] et ainsi affecter leur compétitivité. Le plus grand défi réside dans l'élaboration d'une approche permettant de contrôler les émissions de GES en minimisant à la fois les coûts économiques et les impacts défavorables aux industries qui sont potentiellement les plus fortement touchées.

Plusieurs travaux récents, tels que ceux de Bernard, Fischer et Vielle (2002), Fischer (2001), Goulder (2001) et Stemer et Höglund (2000) ont analysé diverses options d'aide aux industries potentiellement affectées par les politiques de réduction des GES. L'une de ces options revient à changer le mode d'attribution des permis, de manière à minimiser les impacts distributionnels du fardeau de réduction des GES qui sont défavorables à ces industries.

Dans un nouvel environnement caractérisé par la rareté des émissions, ces dernières acquièrent une valeur marchande aussitôt qu'un instrument de marché est utilisé pour les contrôler. Une attribution gratuite des droits d'émissions aux firmes qui les ont émises leur permettrait de pallier les impacts négatifs des efforts de réduction des GES. En se référant à Fischer (2001), l'attribution gratuite de permis en fonction de la production de la période

---

[1] Le plan de référence est l'avant-dernière version du plan officiel du gouvernement sur les changements climatiques (voir Gouvernement du Canada, 2002b.) Voir l'encadré de la page 20 pour une brève comparaison du plan officiel et du plan de référence.

[2] Notamment, les industries à haute intensité énergétique et les industries énergétiques.

courante constitue une forme particulièrement attrayante d'assistance aux industries potentiellement affectées. Contrairement à une attribution gratuite de permis en fonction des émissions passées, qui n'est qu'un transfert de richesse aux firmes, la liaison du nombre de permis gratuits à la production affecte les décisions d'offre de la firme. Elle a une incidence sur l'efficience allocative des ressources.

Ces qualités ont incité le gouvernement du Canada à proposer l'utilisation d'un système d'attribution gratuite de permis selon la production dans le plan de référence. En complément du système de permis échangeables, le plan de référence suggère l'utilisation d'autres mesures, telles que l'instauration des normes technologiques pour réduire les émissions de GES au Canada.

L'objectif de cette étude consiste à analyser, dans un cadre d'équilibre général dynamique, les impacts économiques potentiels de l'utilisation du plan de référence pour satisfaire aux objectifs de Kyoto au Canada.

À notre connaissance, la seule analyse exhaustive existante du plan de référence s'est servie d'une autre approche en combinant deux modèles: le modèle macro-économétrique de l'économie canadienne dénommé 'TIM' (The Informetrica Model) et le modèle technologique dénommé 'Energy 2020 (E2020)'[4]. De plus, nous n'avons recensé aucune étude sur les impacts d'un système de permis avec attribution gratuite des permis en fonction de la production dans un cadre d'équilibre général dynamique.

Nous développons un modèle d'équilibre général dynamique avec anticipations rationnelles pour analyser les impacts agrégés et sectoriels, ainsi que la dynamique transitionnelle de l'économie découlant de la mise en œuvre de ce plan[5]. Des travaux récents, dont ceux de Bye (2002) et Kirchgässner, Müller et Savioz (1998), ont souligné l'importance du fonctionnement du marché du travail sur la mesure de l'impact économique des politiques environnementales. Nous spécifions le fonctionnement marché du travail de manière à considérer, non seulement l'hypothèse de parfaite flexibilité des salaires, mais aussi l'hypothèse de rigidité des salaires qui peut générer un rationnement. De plus, nous analysons les impacts économiques avec différentes valeurs du prix international des permis échangeables et avec différents bouclages du compte du gouvernement. Le développement du présent modèle a bénéficié de récentes contributions dans la littérature sur l'équilibre général dynamique et sur la politique environnementale de contrôle des émissions, telles que Bovenberg et Goulder (2001), Dissou MacLeod et Souissi (2002), Fischer (2001) et Goulder (1999). On notera toutefois qu'une différence significative entre ce

[3] Voir Gouvernement du Canada (2002b).
[4] Ces deux modèles ont été développés par des firmes du secteur privé. Voir Gouvernement du Canada (2002b).
[5] Le modèle, dénommé Modèle canadien d'équilibre général inter-temporel (MCEGI) est aussi connu sous l'acronyme anglais CIGMa (Canadian inter-temporal general equilibrium model).

modèle et celui présenté dans Dissou MacLeod et Souissi (2002) se situe au niveau de la modélisation des instruments de contrôle des GES et du fonctionnement du marché du travail.

Le reste du document se présente comme suit. La prochaine section fournit une présentation intuitive du modèle, alors que la troisième discute des données et du calibrage du modèle. Dans la quatrième section, nous présentons le plan de référence et discutons des résultats de simulation; la dernière section conclut l'étude.

2 - Le modèle

2.1 - Généralités

Nous présentons un modèle d'équilibre général multi-sectoriel dynamique avec anticipations rationnelles de l'économie canadienne. Il permet de déterminer le sentier d'évolution des prix, quantités et revenus d'équilibre de l'économie canadienne suite à différentes perturbations. C'est un modèle de croissance néoclassique, dans lequel le taux de croissance de l'économie à l'état régulier est déterminé par le taux de croissance de la population augmenté du progrès technologique neutre à la Harrod. L'offre de travail des ménages est endogène et deux hypothèses sont envisagées en relation avec le fonctionnement du marché du travail: salaires flexibles et salaires rigides.

Le Canada est considéré comme une petite économie ouverte sur le reste du monde produisant des biens échangeables et non-échangeables et qui prend les prix mondiaux ainsi que le taux d'intérêt comme donnés. L'économie est désagrégée en quinze industries, qui fabriquent 19 produits, de manière à prendre en considération les différences dans l'intensité énergétique[6]. La spécification de la technologie offre diverses possibilités de substitution entre les facteurs primaires, les intrants énergétiques et les intrants intermédiaires. Plus particulièrement, étant donné le lien étroit entre les émissions de GES et le secteur énergétique, une désagrégation assez fine des produits de ce secteur est suggérée au niveau de la demande et de la production. Ainsi, six produits énergétiques, que sont l'électricité[7], le charbon, le gaz naturel, le diesel, l'essence, et les autres produits pétroliers raffinés, sont retenus pour modéliser les besoins énergétiques des firmes et des ménages.

Le modèle est de type réel; ce ne sont que les changements de prix relatifs qui affectent les variables réelles. Dans ces conditions, le modèle ne peut fournir aucune prédiction sur l'impact de Kyoto sur l'inflation. Le numéraire du modèle est le taux de change nominal, ou de

[6] Voir les tableaux 5 et 12 pour les listes des industries et des produits.
[7] Pour des raisons de disponibilité de données, l'industrie de production de l'électricité ne peut être désagrégée pour tenir compte des différents modes de production, tels que l'hydroélectricité et l'électricité thermique.

façon plus précise le facteur de conversion entre les unités monétaires locale et étrangère[8]. De plus, afin de séparer la dynamique résultant de la croissance exogène de la population et du progrès technologique neutre à la Harrod, de la dynamique générée par les chocs de politiques, toutes les variables du modèle sont exprimées en unité efficiente de main d'œuvre.

Dans le reste de la présentation, nous nous efforcerons de fournir une explication intuitive du modèle. Le lecteur intéressé pourra trouver en annexe les détails mathématiques sur les équations, les variables et les paramètres du modèle.

2.2 – Les ménages

Considérons une économie peuplée par un nombre fini de ménages ayant une durée de vie infinie. Leur comportement est modélisé à l'aide d'un ménage représentatif qui prend les décisions de consommation, d'épargne et d'offre de travail. Il a un accès illimité au marché mondial de capitaux sur lequel il peut prêter ou emprunter à un taux d'intérêt réel constant r^*; il est responsable de la dette extérieure. Outre les actifs étrangers, les obligations gouvernementales et les parts des firmes domestiques sont les autres éléments de son portefeuille.

Ses revenus courants proviennent des salaires versés par les firmes, des revenus générés par la détention des actifs financiers, des transferts nets reçus du gouvernement et du reste du monde. Les transferts nets reçus du gouvernement sont constitués des différentes prestations et transferts versés par tous les paliers de gouvernement. Dans certains cas, les recettes provenant de la vente de permis échangeables peuvent s'ajouter à ses revenus. Le ménage représentatif paie des impôts sur le revenu et des taxes sur la consommation des biens et services.

Contrairement à certains modèles dynamiques de type myope, les dépenses de consommation des ménages ne sont pas une part constante du revenu disponible. Le comportement prospectif du ménage représentatif lui permet de lisser sa consommation dans le temps. Il maximise une fonction d'utilité intertemporelle sous une séquence de contraintes budgétaires et une contrainte de solvabilité inter-temporelle. La fonction d'utilité inter-temporelle, qui est additivement séparable, est caractérisée par un taux de préférence pour le temps constant et une fonction d'utilité instantanée de type logarithmique faiblement séparable et définie sur la consommation agrégée et le loisir. Ces deux derniers arguments sont eux-mêmes combinés selon une forme fonctionnelle Cobb-Douglas (C-D).

[8] En d'autres termes, le numéraire du modèle est le prix moyen des biens produits à l'étranger.

En maximisant sa fonction d'utilité intertemporelle sous les contraintes imposées, le ménage représentatif détermine les sentiers optimaux de ses dépenses de consommation et de son offre de travail. Les conditions du premier ordre de ce problème classique de maximisation sont de trois types. La première est l'équation d'Euler de la consommation qui spécifie les conditions d'arbitrage entre les consommations de deux périodes successives. Cet arbitrage dépend du rapport entre le taux d'intérêt réel en termes de consommation[9] et du facteur d'escompte. Plus précisément, l'anticipation d'une augmentation du taux d'intérêt réel en termes de consommation par rapport au taux de préférence pour le temps incite le ménage à substituer la consommation présente pour celle du futur.

La deuxième condition de premier ordre du problème de maximisation est l'équation habituelle de l'arbitrage entre le travail et le loisir. Le ménage décide de travailler jusqu'au point où le taux marginal de substitution entre la consommation et le loisir est égal au rapport entre le coût d'opportunité du loisir et le prix agrégé à la consommation[10].

Enfin, la troisième condition du premier ordre est celle de l'accumulation de la richesse financière du ménage, qui est la somme de la valeur des firmes domestiques, des obligations gouvernementales détenues et du stock net d'actifs étrangers. Par une manipulation algébrique de la première et de la troisième équations du premier ordre, on peut montrer que la consommation agrégée du ménage au cours de la période courante dépend de la richesse totale qui est la somme de la richesse financière et de la richesse humaine. Cette dernière dépend de la somme actualisée des flux (nets des impôts) de revenus du travail et des transferts reçus du gouvernement et du reste du monde.

Il s'ensuit que tout choc modifiant le profil de revenu du ménage ou le sentier de prix à la consommation peut affecter les dépenses courantes de consommation des ménages. Étant donné l'importance des produits d'origine locale dans le panier de consommation des ménages, les politiques de réduction des GES, qui affectent de façon significative le sentier d'évolution des prix relatifs, peuvent affecter la consommation courante des ménages.

Après avoir déterminé le profil de sa consommation agrégée (ou de sa dépense de consommation), le ménage répartit au cours de chaque période cette dépense entre les différents biens disponibles. Nous utilisons une fonction d'agrégation de type C-D pour spécifier la relation

---

[9] C'est-à-dire du taux d'intérêt mondial ajusté de la variation du prix agrégé à la consommation entre deux périodes successives.

[10] Dans le cas avec rigidité salariale nous introduisons un écart entre le coût d'opportunité du loisir et le taux de salaire payé par les firmes.

entre la consommation agrégée et les quantités consommées de chaque bien. Étant donné cette spécification, la part des dépenses contemporaines de consommation allouée à chaque bien est fixe. Finalement, nous obtenons le prix agrégé à la consommation mentionné plus haut en résolvant le problème dual du programme d'optimisation intra-temporelle du ménage.

2.3 – La production

2.3.1 - Spécification de la technologie

La firme représentative de chaque industrie combine le travail, le capital, les intrants énergétiques et les intrants intermédiaires pour produire un bien composite pouvant être vendu localement ou exporté. Elle a accès à une technologie caractérisée par des rendements d'échelle constants et fait face à des coûts d'ajustement dans l'installation du capital. Elle opère dans un environnement concurrentiel sur les marchés des biens et des facteurs.

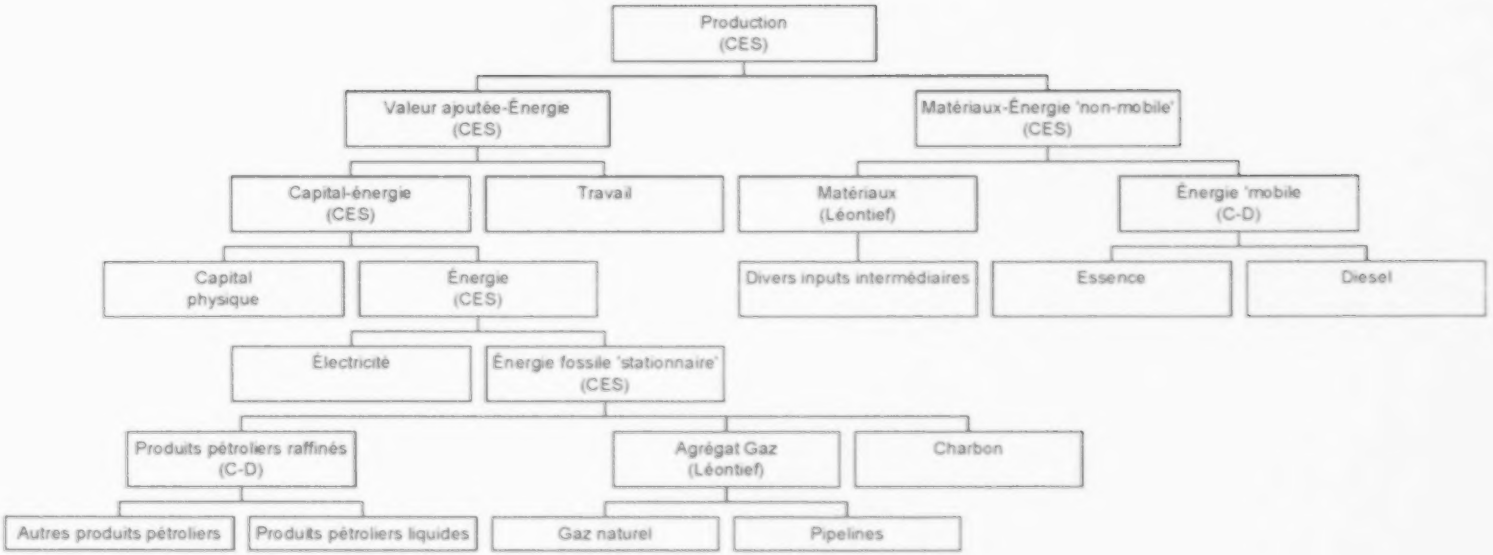
Étant donné l'importance de l'énergie dans le contrôle des émissions des GES, la spécification de la technologie des firmes rend compte des différentes possibilités de substitution entre, non seulement les différentes sources d'énergie, mais aussi, entre l'énergie et le capital. En particulier, une fonction de production faiblement séparable représentée par des fonctions de type CES (Constant Elasticity of Substitution) emboîtées est utilisée pour représenter la technologie. La figure 1 présente une description schématique de la technologie des firmes.

La production de la firme est une fonction C-D de l'intrant composite valeur ajoutée-énergie et de l'agrégat d'intrants intermédiaires. Le travail est combiné à l'agrégat capital-énergie selon une forme fonctionnelle CES pour produire l'intrant composite valeur ajoutée-énergie. L'agrégat capital-énergie est une autre fonction CES du stock de capital et de l'intrant agrégé énergétique.

Ce dernier est une fonction CES de l'électricité et de l'agrégat de produits énergétiques fossiles qui est à son tour une autre fonction CES des divers intrants énergétiques fossiles 'non-mobiles' que sont le charbon, le gaz naturel et les autres produits pétroliers raffinés[11]. L'agrégat d'intrants intermédiaires est une fonction CES de l'intrant composite de consommations intermédiaires non-énergétiques et de l'intrant composite des intrants énergétiques fossiles 'mobiles'. Ce dernier est une fonction CES du diesel et de l'essence, tandis que l'intrant composite de consommations intermédiaires est une fonction Leontief des autres produits intermédiaires utilisés par la firme.

[11] Le modèle fait une différence entre, d'une part, les produits énergétiques fossiles 'mobiles' (c'est-à-dire ceux utilisés pour le transport, tels que le diesel et l'essence et, d'autre part, les produits énergétiques fossiles 'non mobiles' tels que le charbon, le gaz naturel et les autres produits pétroliers raffinés.

Figure 1 : Représentation schématique de la technologie des firmes



[12] Le modèle fait une différence entre, d'une part, les produits énergétiques fossiles 'mobiles' (c'est-à-dire ceux utilisés pour la locomotion, tels que le diesel et l'essence et, d'autre part, les produits énergétiques fossiles 'non mobiles' tels que le charbon, le gaz naturel et les autres produits pétroliers raffinés.

2.3.2 - Contrôle des émissions et modélisation du comportement des firmes

Selon le plan proposé par le gouvernement pour contrôler les émissions de GES, deux types d'instruments pouvant affecter le comportement des firmes sont particulièrement intéressants. Ce sont, d'une part, le système de permis échangeables avec allocation basée sur la production, et d'autre part, les mesures ciblées.

a) - Le système de permis échangeables avec allocation basée sur la production (SPAP)

Description du système

Ce système serait mis en place pour contrôler les émissions de GES dans le groupe d'industries dénommé 'Grands Émetteurs Industriels' (GEI)[13]. Selon ce système, tous les GEI doivent détenir un droit ou permis d'émission afin d'émettre dans l'atmosphère toute unité de GES appartenant à la catégorie des émissions contrôlées par le système de permis échangeables[14]. Ces permis peuvent être échangés entre les firmes sur le marché national ou sur le marché international. Afin de réduire les impacts négatifs de l'augmentation des coûts de production liés à la rareté des droits d'émission, le plan prévoit une attribution gratuite de permis pour chaque GEI. Les permis gratuits sont offerts à la firme en fonction de la production de la période courante et de la cible d'intensité d'émission qui lui est assignée.

L'intensité d'émission d'une industrie est le rapport entre ses émissions[15] et sa production physique. Il est intéressant de noter que la cible d'intensité d'émission assignée à une industrie est une valeur prédéterminée, qui n'est pas nécessairement égale à celle observée dans la situation de référence. De plus, elle est différente de l'intensité d'émission effectivement réalisée[16] par l'industrie qui n'est observée qu'*ex-post*.

L'attribution de permis gratuits aux GEI impliqués dans le système de permis échangeables leur permet de bénéficier de la rente générée par la détention de droits sur des émissions qui sont devenues rares. Elles pallieront ainsi les effets négatifs découlant des efforts d'épuration. Toutefois, contrairement à un autre système de permis dans lequel les permis sont attribués selon les émissions passées, le présent système a un impact sur le comportement des firmes.

Toutes choses étant égales d'ailleurs, plus élevée est la production de la firme, plus grand est le nombre de permis gratuit qu'elle reçoit. L'accroissement du nombre de permis gratuits, réduit

---

[13] Ce groupe comprend les industries de production de l'électricité, du pétrole et du gaz ainsi que dans les industries à forte intensité énergétique (voir liste dans tableau 11.)

[14] Le plan de référence prévoit l'épuration de certaines émissions des GEI par l'intermédiaire de mesures ciblées.

[15] C'est-à-dire les émissions admissibles dans le SPAP.

[16] L'intensité d'émission effectivement réalisée est calculée à partir des émissions effectives totales de GES (admissibles sous le SPAP) et de la production de la période courante.

les achats nets de permis. La firme reçoit alors une forte incitation à ne pas réduire sa production afin de bénéficier du plus grand nombre de permis gratuits. Elle est plutôt incitée à réduire ses émissions grâce à la baisse de son intensité d'émission. Cette dernière réduction ne peut se réaliser que suite à un investissement dans le capital physique et/ou des substitutions entre les carburants fossiles.

Il est toutefois intéressant de noter que les permis gratuits ne couvrent pas nécessairement tous les besoins en droits d'émissions des firmes impliquées dans le système de permis échangeables. Certaines firmes peuvent être déficitaires alors que d'autres peuvent enregistrer des excédents. La possibilité d'échange de permis permet aux firmes déficitaires en permis de s'approvisionner auprès des firmes excédentaires ou sur le marché international de permis[17].

Modélisation des décisions d'épuration des firmes dans le SPAP

L'achat de permis échangeables constitue une alternative aux efforts d'épuration physique des émissions. Le prix du permis constitue alors le véritable signal déterminant la limite des efforts d'épuration de la firme : plus faible est ce prix, plus faible est l'effort d'épuration fourni par la firme. La firme rationnelle poursuivra ses efforts de réduction des émissions jusqu'au point où le coût marginal d'épuration des émissions est égal au prix du permis.

Par ailleurs, étant donné l'impact du système d'attribution des permis sur le comportement de la firme, la valeur des permis gratuits à la firme peut être considérée comme un incitatif à la production. Plusieurs auteurs, dont Fischer (2001) et Goulder (1999) ont adopté la même approche de modélisation de l'impact des permis gratuits alloués selon la production. Le SPAP peut être modélisé comme un système standard d'échange de permis dans lequel, le prix du permis affecte à la fois les décisions d'utilisation des facteurs et le prix effectif reçu par le producteur. Le problème d'optimisation statique de la firme dans un SPAP se présente comme suit[18] :

$$Max \quad \Pi_j = (P_j + \beta_j \overline{P})Y_j - \sum_{i=1} (w_i + \overline{P}e_{ij})x_{ij}$$

$$s.c. \qquad Y_j = f(x_{ij}) \qquad i = 1,\ldots,n$$

[17] Le plan de référence prévoit aussi l'achat de permis par les GEI dans le lot des 'compensations'. Ces compensations sont des substituts aux permis internationaux. Elles sont des crédits d'émissions générés par des activités d'épuration effectuées dans des industries n'appartenant pas aux GEI et qui sont partiellement financées par le gouvernement.

[18] Nous ignorons dans cette présentation les émissions liées au processus de production qui sont néanmoins prises en compte de manière explicite dans la version numérique du modèle présentée en annexe.

où $\Pi_j, Y_j, P_j, et\ \beta_j$ représentent, respectivement, le profit, la production, le prix du produit et la cible intensité d'émission assignée à la firme j, x_{ij}, w_i, e_{ij} *et* $\overline{P}$ représentent, respectivement, la quantité et le prix de l'intrant i utilisé par la firme j[19], le facteur d'émission de l'intrant i dans la production de bien par la firme j[20] et le prix unitaire du permis échangeable. $\beta_j \overline{P}$ représente l'incitatif à la production lié à la cible assignée d'intensité d'émission; il est exprimé par unité de production. Enfin, f est une fonction de production homogène linéaire.

La condition du premier ordre de ce problème de maximisation est l'équation standard d'égalisation de la productivité marginale en valeur du facteur à son coût d'acquisition:

$$(P_j + \beta_j \overline{P}) f'(x_{ij}) = w_i + \overline{P} e_{ij} \qquad \text{pour } i = 1,\ldots,n$$

où la fonction f' représente la productivité marginale physique du facteur i. Le prix du permis, $\overline{P}$, influence le comportement de la firme à travers deux canaux. D'une part, il pénalise l'utilisation des intrants les plus polluants, et incite les firmes à faire des substitutions entre les combustibles fossiles ou à substituer de l'énergie pour du capital. D'autre part, plus élevé est le prix du permis, plus grand est l'incitatif à la production reçu par la firme et plus faible est son impact sur la production de la firme. Il s'ensuit que l'impact négatif des dépenses d'épuration des GES sur la production des firmes est atténué. Ces dernières sont moins encouragées à diminuer leur production qu'à réduire leur intensité d'émission. Par contre, à un prix de permis donné, les émissions totales GEI peuvent être plus élevées que celles qui auraient été obtenues dans un système de permis échangeables sans incitatif à la production. Des achats plus importants internationaux de permis pourraient alors s'avérer nécessaires.

Par ailleurs, puisque les cibles d'intensité d'émission sont assignées aux GEI *ex ante*, le nombre total de crédits d'émission gratuits offerts par le gouvernement peut dépasser la part des GEI dans les droits d'émission accordés au Canada par le protocole de Kyoto. Dans ce cas, les autres secteurs de l'économie auront à épurer davantage ou le gouvernement aura à acheter des permis internationaux afin de satisfaire aux objectifs de Kyoto.

Le plan de référence prévoit éliminer cette possibilité en utilisant un facteur de correction des intensités d'émission, α, de sorte que le nombre de crédits d'émission gratuits distribués aux GEI soit égal à leur part dans la cible nationale de Kyoto. Ce facteur de correction est une variable endogène indiquant le taux uniforme de variation (réduction ou augmentation) des cibles assignées d'intensité d'émission de manière permettant d'obtenir l'égalité ci-dessus mentionnée.

---

[19] Ces intrants comprennent par exemple les intrants énergétiques fossiles et le capital physique.
[20] Le facteur d'émission d'un intrant non-polluant est nul.

Ainsi dans la modélisation du comportement des GEI, la cible assignée d'intensité d'émission devient $\alpha\beta_j$, au lieu de β_j.

b) Les mesures ciblées

Les mesures ciblées sont constituées d'une palette de mesures incitant les agents économiques à réduire leurs émissions de GES. Ces mesures comprennent entre autres initiatives, l'utilisation des normes sur les émissions et des incitations financières versées aux firmes afin de les aider à épurer leurs émissions de GES. Les objectifs de réduction de GES par l'intermédiaire des mesures ciblées, que devront atteindre divers agents économiques, sont tels que déterminés dans l'analyse faite par le modèle TIM-E2020.

La prise en compte de ces mesures n'est pas aisée dans un modèle économique d'optimisation[21]. Nous supposons dans la présente analyse que les mesures ciblées se traduisent effectivement par une diminution de l'utilisation de l'énergie par les firmes et par conséquent par une réduction des émissions des GES. Toutefois, une différence notable entre les mesures ciblées et le système de permis échangeables est l'absence de pénalités financières directes liées aux efforts d'épuration[22]. Ainsi, nous modélisons les mesures ciblées, d'une part, en mettant une pénalité sur l'utilisation de l'énergie de la firme, et d'autre part, en versant les revenus de ces pénalités à la firme sous forme d'incitatif à la production.

La pénalité est imposée sur l'agrégat d'intrants énergétiques plutôt que sur chaque produit énergétique individuellement. La pénalité capte les incitations à réduire la demande d'énergie et induit des effets de substitution vers les intrants non polluants, alors que l'incitatif à la production essaie de mimer l'absence de pénalités financières directes subies par la firme. Le taux de la pénalité sur le prix de l'agrégat énergétique dans une industrie donnée est déterminé de façon endogène de manière à ce que le revenu total généré par la pénalité soit égal aux dépenses pour les mesures ciblées prévues pour cette industrie. De la même manière, le niveau de l'incitatif à la production est déterminé par le modèle.

Par ailleurs, nous supposons que la réduction de l'utilisation de l'énergie dans le cadre des mesures ciblées se traduit par une modification des facteurs d'émission des intrants énergétiques de manière à générer les réductions d'émission de GES conformes aux prévisions annoncées par le plan de référence. Enfin, l'incidence des dépenses ciblées sur le compte du gouvernement est

[21] Par exemple, une mesure ciblée prévoit renforcer le contrôle de la limite de vitesse des automobilistes. Les économies de carburant qui en découleront se traduiront par une réduction des émissions dans le secteur des transports.

[22] Nous faisons abstraction des pénalités indirectes subies par la firme qui est obligée de se conformer aux nouvelles normes sur l'efficacité énergétique.

captée dans le modèle à travers des dépenses sur les biens et services d'un montant équivalent à celles prévues pour les mesures ciblées.

c) Optimisation inter-temporelle de la firme

L'objectif des dirigeants est de maximiser valeur de la firme, qui est égale à la somme actualisée des flux nets de trésorerie sous la contrainte d'accumulation du capital et en présence de coût d'ajustement. Nous supposons que la firme représentative de chaque industrie a atteint un stade de maturité lui permettant de financer ses dépenses d'investissement à partir de fonds propres. En d'autres termes les dividendes versés aux ménages sont nets des dépenses d'investissement. Cette hypothèse est compatible avec l'hypothèse de parfaite mobilité des capitaux, où tous les actifs contenus dans le portefeuille du ménage génèrent un même rendement équivalent au taux d'intérêt mondial. En outre, les firmes paient un impôt général sur les profits[23].

La présence de coûts d'installation du capital introduit une immobilité intersectorielle du capital dans le court terme. Au début de chaque période, le stock de capital est prédéterminé par les décisions d'investissement de la période précédente. La réallocation du capital entre les divers secteurs ne s'opère que dans le long terme à travers l'accumulation (investissement). En suivant, Hayashi (1982), nous considérons une fonction de coût d'installation convexe en l'investissement et décroissante par rapport au stock de capital. Plus précisément, la forme fonctionnelle choisie est homogène linéaire en ses deux arguments, c'est-à-dire l'investissement et le stock de capital. L'un des avantages de cette forme fonctionnelle est qu'elle permet obtenir une expression parcimonieuse pour la demande d'investissement de la firme.

En maximisant la valeur de la firme, les dirigeants déterminent les quantités optimales d'investissement, de travail, d'intrants énergétiques et des autres consommations intermédiaires. En dehors de l'investissement, les conditions du premier ordre du problème de maximisation intertemporelle de la firme sont les conditions standard rencontrées dans un problème d'optimisation statique. En l'occurrence, la firme utilise le facteur de production jusqu'au point où sa productivité marginale en valeur est égale à son coût d'acquisition.

Le niveau optimal d'investissement de la firme est déterminé de manière à égaliser le coût marginal d'investissement au prix de référence du capital, c'est-à-dire le bénéfice marginal, de changer le stock de capital d'une unité évalué en termes de variation de la valeur de la firme. Le coût marginal d'investissement de la firme comprend, non seulement le prix d'acquisition du bien capital, mais aussi le coût additionnel d'installation du capital auquel doit faire face la firme. Le

[23] Le modèle n'a pas été construit pour analyser la fiscalité des entreprises. La spécification adoptée n'est pas assez détaillée pour tenir compte des impacts différenciés que peuvent avoir les taux d'imposition des dividendes et du gain en capital.

bénéfice marginal de l'investissement prend en compte l'impact marginal de l'investissement sur les profits de la période courante et des périodes futures. Ainsi ce bénéfice marginal est la somme actualisée des gains marginaux présent et futurs du capital. Ce gain marginal est la somme de la productivité marginale en valeur du capital et du gain associé à la réduction du coût d'installation liée à l'augmentation du capital d'une unité.

Il apparaît ainsi que les décisions d'investissement de la firme peuvent être affectées par deux canaux essentiels: le prix d'acquisition du bien capital et la productivité marginale en valeur du capital qui dépend essentiellement du prix au producteur du bien. Une augmentation du prix d'achat du bien capital a un impact négatif sur la demande d'investissement de la firme. Par contre, une augmentation du prix au producteur (net des taxes et incitatifs) a un impact positif sur l'investissement.

d) Fonctionnement du marché du travail

Comme nous le mentionnions plus haut, nous distinguons deux bouclages alternatifs pour le marché du travail : salaire flexible et salaire rigide. Dans le cas des salaires flexibles, le taux de salaire payé par la firme est identique au coût d'opportunité du loisir utilisé par le ménage dans ces décisions de travail. Le taux de salaire s'ajuste à tout moment pour équilibrer l'offre et la demande de travail.

Par contre en présence de rigidité salariale, le taux de salaire payé par les firmes n'est pas identique au coût d'opportunité du loisir. Puisque le niveau d'emploi dans l'économie est toujours déterminé par les firmes, celles-ci sont toujours sur leur courbe de demande de travail. Le présent modèle suppose que la rigidité observée est la résultante du processus de détermination des salaires qui se fait par négociation entre les firmes et les syndicats. Plusieurs travaux récents sur le processus de détermination des salaires dans de nombreux pays industrialisés, dont le Canada, tels que Dalen et *al.* (2003), Bowitz et Cappelen (1997), Budd (1996) et Gu et Kuhn (1998) tendent à supporter l'idée d'une détermination des salaires par négociation. Nous supposons que le pouvoir de négociation des syndicats leur confère une prime qui introduit un écart entre le salaire payé par les firmes et le coût d'opportunité du loisir des ménages. Nous suivons Gali (1996) en introduisant une marge λ_t (avec $\lambda_t \geq 1$) entre le salaire payé par les firmes et le coût d'opportunité du loisir des ménages. Cet écart peut alors générer un rationnement d'où la possibilité de chômage involontaire. De plus, en présence de rigidité, nous supposons que le salaire payé par les firmes est homogène de degré un par rapport au taux d'imposition du revenu salarial des ménages. En d'autres termes, toute augmentation de ce taux d'imposition est

entièrement absorbée par le taux de salaire payé par les firmes à cause du processus de détermination des salaires.

2.4 - Le gouvernement

Le modèle ne distingue pas les différents paliers de gouvernement au Canada; il ne considère que le compte consolidé des différents niveaux de gouvernement. Le comportement du gouvernement est assez simple. Il prélève des taxes sur les biens et services et lève des impôts sur les revenus des ménages et des firmes. Il consomme des biens et services (en quantités fixes exprimées par unité efficiente de main d'œuvre), effectue des transferts aux ménages et finance les dépenses liées aux mesures ciblées ainsi que les dépenses relatives au développement des *compensations*.

Les compensations sont des activités de réduction des émissions[24] qui génèrent des crédits domestiques d'émission qui sont parfaitement substituables (au Canada) aux permis internationaux. Ces crédits d'émission peuvent être achetés par les firmes impliquées dans le SPAP. Selon les prévisions du plan de référence, 20 Mt de crédits de compensations pourront être développés. Étant donné que ces crédits sont des substituts aux permis étrangers, le gouvernement prévoit payer la différence entre le coût moyen de développement de ces 'compensations' (exogène dans le modèle) et le prix international des permis échangeables. Il est important de noter que le modèle ne considère pas les coûts en ressources nécessaires au développement des compensations. Ils sont considérés comme donnés dans le modèle et les revenus générés par leur vente sont attribués aux ménages.

Le gouvernement finance l'excédent de ses dépenses sur ses revenus par l'émission des obligations qui génèrent le même rendement que les actifs étrangers[25]. Il est soumis à une contrainte budgétaire intertemporelle qui élimine la possibilité d'une explosion de sa dette. Cet objectif est réalisé par l'imposition d'une contrainte spécifiant que le ratio de la dette du gouvernement par rapport au PIB est égal à celui de la situation de base. La variable d'ajustement, qui peut différer d'une simulation à l'autre, pourra être une composante forfaitaire des dépenses du gouvernement ou le taux d'imposition du revenu salarial du ménage.

2.5 - Autres composantes de la demande et relations du Canada avec le reste du monde

[24] Ces activités comprennent par exemple le réaménagement des dépotoirs d'ordures ménagères de manière à réduire les émanations de GES

[25] À cause de l'hypothèse de parfaite mobilité des capitaux avec le reste du monde.

La demande intérieure totale pour chaque produit est la somme des quantités demandées du bien par les ménages, les firmes (consommation intermédiaire et investissement) et le gouvernement. Nous avons discuté plus haut de la demande du produit par les ménages, le gouvernement et les firmes pour fin de consommation intermédiaire. Nous supposons que la demande totale d'investissement[26] des firmes pour accroître leur stock de capital est un composite Leontief de plusieurs produits. La demande pour chaque produit entrant dans ce composite est une part fixe (en volume) de la demande totale d'investissement des firmes. Le prix moyen du bien du bien capital est alors une somme pondérée des prix des produits formant le composite.

Nous modélisons les échanges du Canada avec le reste du monde en adoptant l'hypothèse traditionnelle de différenciation des produits, tant en ce qui concerne la demande, qu'en ce qui concerne l'offre. En adoptant l'approche d'Armington (1969), nous supposons que la demande intérieure totale pour chaque produit est un composite de type CES formé du bien produit localement et de l'agrégat du bien importé. Ce dernier est une autre fonction CES du produit importé des États-Unis et des importations provenant du reste du monde. Une règle de minimisation des dépenses d'acquisition du panier permet de déterminer sa composition optimale, et par conséquent la demande totale d'importation et les demandes d'importation selon l'origine de chaque bien. En particulier, le rapport entre les quantités demandées du produit en provenance des deux origines (locale et étrangère) dépend de leur rapport de prix. Une augmentation du prix relatif du produit d'origine locale par rapport au produit importé sera nuisible aux producteurs locaux.

Du côté de l'offre, nous supposons que le bien produit par chaque firme est un composite de type CET (Constant Elasticity of Transformation) du produit vendu sur le marché domestique et du produit agrégé d'exportation. Une autre fonction CET agrège les exportations vers les États-Unis et les exportations vers le reste du monde. Une règle de maximisation du revenu de vente permet de déterminer la composition optimale de l'offre sur chacun des marchés. En l'occurrence, le rapport des quantités offertes du produit sur le marché domestique et le marché d'exportation dépend du rapport des prix obtenus sur ces deux marchés. Une réduction du prix relatif obtenu sur le marché domestique[27] favorisera les exportations au détriment des ventes sur le marché domestique.

Au cours de chaque période, le déficit de la balance courante s'ajoute au stock de dette extérieure. Le déficit de la balance courante est la somme du déficit de la balance commerciale,

---

[26] Y compris les coûts d'installation.
[27] Par rapport au marché international.

des transferts nets du gouvernement et des ménages vers l'étranger, et des achats nets de permis échangeables étrangers.

2.6 - Conditions d'équilibre et état régulier

L'absence de non-convexités dans les préférences des ménages et la technologie des firmes garantit l'existence d'un équilibre inter-temporel concurrentiel avec anticipations rationnelles pour l'économie représentée dans ce modèle. Cet équilibre est caractérisé par une suite de variables de prix et de quantité et de variables de stock telle que:

a. les ménages et les firmes respectent les conditions d'optimalité découlant de la maximisation de leurs fonctions objectif;
b. tous les agents respectent leurs contraintes budgétaires;
c. les conditions de transversalité pour les stocks de capital physique des firmes, la richesse totale des ménages ainsi que pour les stocks de la dette du gouvernement et de la dette extérieure sont satisfaites;
d. un équilibre temporaire est réalisé au cours de chaque période sur tous les marchés de biens et de facteurs[28].

Dans ce modèle de type néoclassique, l'état régulier de cette économie est défini comme un état dans lequel toutes les variables de flux et de stock, exprimées en unités efficientes de main d'œuvre, sont constantes. En d'autres termes, les variables brutes croissent au taux exogène de croissance de la population augmenté du progrès technologique neutre à la Harrod. Les conditions de transversalité imposées, ainsi que les formes fonctionnelles choisies garantissent l'existence d'un tel état.

3 - Données, calibrage et résolution numérique du modèle

Étant donné la complexité du modèle, aucune tentative n'a été faite pour trouver une solution analytique au système d'équations hautement non-linéaires qui découlent des comportements des firmes et des ménages. Nous avons plutôt opté pour une résolution numérique. Le modèle a été calibré sur un horizon de 150 périodes (années) commençant en 2003, en utilisant les données projetées de la matrice de comptabilité sociale (MCS) et de la table détaillée des émissions par industrie qui sont construites pour l'année 2010[29]. L'offre totale (observée)de main d'œuvre, incluant le progrès technologique, étant normalisée à l'unité, toutes les variables exprimées par unité efficiente sont constantes sur tout l'horizon de simulation dans

[28] En présence de rigidité salariale, un déséquilibre peut être observé sur le marché du travail.
[29] 2010 est l'année médiane de la première période d'engagement 2008-2012.

la situation de référence où l'hypothèse de l'état régulier a été adoptée. De plus, pour raison de simplicité, nous supposons que le chômage involontaire est nul dans la situation de référence[30]. La MCS projetée de 2010 a été construite en utilisant les données des comptes nationaux de l'année 2000, la structure détaillée du tableau entrées-sorties de 1996 et un taux de croissance moyen du PIB de 2.3% entre 2000 et 2010. La valeur de 2.3% a été choisie comme le taux de croissance de la population augmenté du progrès technologique. Cette valeur est le taux de croissance implicite du PIB compatible avec les prévisions d'émission de GES en 2010 dans AMG (1999)[31]. Le tableau 1 présente la structure de la MCS projetée de 2010 de l'économie canadienne.

Le tableau détaillé des émissions, par industrie et par type de carburant pour 2010 a été construite en utilisant d'une part, les données sur les émissions par industrie produites par Statistiques Canada, et d'autre part, les prévisions d'émissions contenues dans AMG (1999). Les données de la MCS et du tableau des émissions ont permis de calculer les facteurs d'émission des différents carburants fossiles ainsi que les intensités d'émission par industrie. Les cibles d'intensité d'émission assignées aux GEI dans le système de permis ont été calculées à partir des déviations en pourcentage par rapport aux valeurs de la situation de référence. Ces déviations nous ont été fournies par le Groupe de Travail sur les Permis Échangeables[32] (voir tableau 2.)

Le tableau 3 présente les valeurs utilisées pour divers paramètres de comportement. Ces valeurs, qui ont été empruntées de précédentes études sur le Canada, telles que Ab Iorwerth et al (2000), Dissou, MacLeod et Souissi (2002), et Wigle (2001). Elles ne sont pas très différentes des valeurs utilisées dans de nombreux autres modèles d'équilibre général du Canada ou des États Unis. Le paramètre λ_r représentant la prime sur le salaire moyen des travailleurs due à la présence de syndicats a été fixée à une valeur très conservatrice de 0.8%.

Le calibrage du modèle consiste à utiliser la MCS, les paramètres empruntés d'autres études, ainsi que les conditions du premier ordre et les conditions de l'état régulier, pour recouvrer les autres paramètres des fonctions de comportement et les valeurs des variables non-observées du modèle, de manière à reproduire la situation de référence. Nous avons utilisé pour

---

[30] La prise en compte de la vraie valeur du taux de chômage non volontaire n'aura une incidence que sur la valeur calibrée de l'offre totale de main d'œuvre dans la situation de référence.

[31] Le taux de croissance tient compte de l'efficacité énergétique et de l'accroissement des émissions dans certaines industries (énergétiques) dû à une croissance sectorielle plus forte.

[32] La mission du Groupe de Travail sur les Permis Échangeables est d'analyser les diverses options de mise en place du système de permis échangeables au Canada. Ce groupe à été créé dans le cadre des travaux du Groupe d'Analyse et de Modélisation (GAM). Le GAM regroupe des analystes des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux du Canada. Sa mission inclut entre autres la réflexion sur les priorités analytiques liées au changement climatique.

cette fin des procédures de calibrage fréquemment employées dans les modèles d'équilibre général statique et dynamique. Dissou (1998), Keuschnigg et Kohler (1994) et Whalley et Mansur (1984), fournissent des détails sur les méthodes de calibrage de ces modèles.

La résolution numérique d'un modèle d'équilibre général à horizon infini nécessite une troncature de l'horizon de simulation afin d'avoir un nombre fini de périodes. La règle générale consiste à sélectionner un nombre de périodes suffisamment grand pour permettre à l'économie d'atteindre un nouvel état régulier après une perturbation, tout en imposant de conditions terminales liées à l'état régulier de manière à minimiser les erreurs dues à la troncation. L'horizon de simulation de 150 années que nous avons choisi est suffisant dans le cas de ce modèle. Le modèle a été résolu numériquement en le considérant comme un 'two-point boundary problem' dans lequel les conditions initiales sont fixées pour les variables d'état et les conditions terminales sont imposées aux variables de saut. Nous nous sommes servis de la méthode 'Extended Path' suggérée par Gagnon (1990) pour résoudre le système d'équation contenant des d'équations de différence.

4 - Simulations

Cette section discute du plan de référence et des simulations réalisées pour analyser les impacts potentiels d'une politique de réduction des GES au Canada.

4.1 - Présentation du plan de référence

Le plan de réduction des GES, dit plan de référence, a été dévoilé en septembre 2002 par le Groupe d'Analyse et de Modélisation (GAM). Il peut être considéré comme une variante de l'option 4 présentée dans le document de discussion sur le changement climatique publié par le gouvernement du Canada en mai 2002[33]. Le plan de référence combine deux instruments majeurs, que sont le système de permis échangeables et les mesures ciblées; il suggère aussi l'achat de permis internationaux par le gouvernement.

Comme nous le mentionnions plus haut, le plan de référence analysé ici, tout en étant différent du plan pour le changement climatique publié en novembre 2002, lui est proche[34]. Dans cette perspective, les leçons qualitatives tirées de l'analyse du plan de référence donneront une indication des impacts potentiels du plan du Canada pour le changement climatique.

Selon le protocole de Kyoto, le Canada doit ramener ses émissions de GES à un niveau de 6% en dessous de celui de 1990, soit 571Mt. Ceci correspond à un écart d'émissions de 240 Mt en 2010 par rapport au niveau anticipé si aucune mesure particulière n'est prise pour modifier la trajectoire des émissions.

Le tableau 4 présente les objectifs de réduction d'émission attribués à chaque instrument afin de combler l'écart de 240 Mt en 2010. Selon le plan de référence, le Canada pourra réclamer des crédits d'émission qui réduiront l'écart à 140 Mt. D'une part, en supposant que le Canada réussisse à obtenir les 70 Mt de crédits pour l'exportation d'énergie propre, l'écart d'émission tombe à 170Mt. D'autre part, le développement des puits de carbone (tels que les forêts), qui par définition sont des absorbants naturels de CO_2, générera 30 Mt de crédits d'émission; ceci ramènera l'écart d'émission à 140 Mt.

Les GEI sont appelés à réduire leurs émissions de 48 Mt en utilisant le système de permis échangeables avec allocation basée sur la production (SPAP), tel que décrit plus haut. Les mesures ciblées permettent de réduire 82 autres Mt de GES. Ces mesures contiennent des initiatives contribuant à la diminution les GES, qui seront mises en œuvre dans toute l'économie,

---

[33] Voir Gouvernement du Canada (2002a).

[34] Voir l'encadré et le tableau 4 pour une brève comparaison du plan de référence analysé et du plan du Canada pour les changements climatiques.

tant par les GEI que par les autres agents. Le tableau 5 présente les parts des émissions couvertes par le système de permis dans différentes industries.

Encadré : Brève comparaison du plan de référence analysé et du plan officiel du Canada pour les changements climatiques.

Bien que le plan de référence analysé dans cette étude ne puisse être présenté comme étant identique au plan officiel du Canada sur les changements climatiques les deux sont néanmoins semblables. Ils proposent tous deux exactement les mêmes instruments pour atteindre les objectifs de Kyoto au Canada. En réalité, le plan officiel du Canada sur les changements climatiques est issu d'une modification du plan de référence. Ce dernier a été présenté comme le plan reflétant le point de vue du gouvernement sur la combinaison appropriée d'instruments de politiques sur le changement climatique. La principale différence entre ces deux plans vient de la répartition des cibles de réduction des émissions de GES attribués à chaque instrument.

Par exemple, alors que les GEI doivent réduire leurs émissions de 96 Mt en 2010 dans le plan officiel, le plan de référence analysé ne leur attribue qu'une cible de réduction de 94 Mt. De plus, ce ne sont que 48 Mt qui doivent être réduites par l'intermédiaire du système de permis dans le plan de référence, contre 55 Mt dans le plan officiel. Il s'ensuit que le plan de référence analysé attribue une plus grande cible de réduction aux mesures ciblées 48 Mt contre 41 Mt dans le plan officiel en ce qui concerne les GEI.

Les 70 Mt de crédits pour l'exportation de l'énergie propre que le Canada prévoyait obtenir selon le plan de référence n'existent plus dans le plan officiel. Celles-ci sont remplacées par 60 Mt de réduction de GES qui seront obtenues grâce aux actions présentes et futures. Par ailleurs, alors que le plan de référence utilise un facteur d'ajustement *ex post* des cibles assignées d'intensité d'émissions, le plan officiel n'en fait pas usage.

Il n'est pas inutile de mentionner que bien que le plan du Canada pour les changements climatiques ait été officiellement annoncé, il est appelé à évoluer. En effet, selon Gouvernement du Canada (2002, p. iv) « Il (le plan) continuera d'évoluer au fur et à mesure que les Canadiens et leurs gouvernements poursuivront leur concertation pour mettre en place l'économie dynamique et l'environnement sain que nous souhaitons pour nous-mêmes et pour les prochaines générations de Canadiens.»

Finalement, la répartition des objectifs de réduction dans le plan de référence que nous avons analysé est conforme aux premières versions de ce plan qui ont été présentées par le GAM. Elle diffère légèrement de la répartition analysée dans Gouvernement du Canada (2002) qui a attribué une cible de réduction de 55 Mt aux GEI.

Enfin, le plan de référence prévoit l'achat de 10Mt de permis internationaux pour combler l'écart d'émission de 240Mt en 2010. Notons qu'en demandant aux GEI de réduire leurs émissions de 48 Mt par l'intermédiaire du SPAP, on définit implicitement le nombre de permis gratuits que ceux-ci recevront. Ces industries devront recourir aux permis internationaux si leurs efforts d'épuration s'avéraient insuffisants pour respecter la cible d'émission fixée. Les achats totaux de permis par le gouvernement et les GEI seront satisfaits par les 20 Mt de crédits de compensations et, si nécessaire, par des achats supplémentaires sur le marché international.

4.2 - Description des simulations

Nous analysons les impacts potentiels de la politique de contrôle des GES au Canada en utilisant les deux principaux instruments du plan que sont le système de permis échangeables et les mesures ciblées dans quatre simulations distinctes. Les quatre simulations adoptent l'hypothèse 'Kyoto pour toujours', dans laquelle la cible totale des émissions fixée par le protocole de Kyoto est maintenue constante au même niveau, soit 571 Mt de CO_2 éq.

Dans la première simulation qui possède deux variantes, nous analysons les impacts de la politique avec un prix du permis à 10$ canadiens par tonne de CO_2 éq. et un financement des incidences fiscales par une variation du solde budgétaire du gouvernement (financement par la dette). Les hypothèses sur le prix du permis et sur le mode de financement des incidences fiscales sont tirées de l'analyse effectuée dans les modèles TIM-E2020[35]. Les incidences fiscales tiennent compte, d'une part, des nouvelles dépenses pour les mesures ciblées, des achats de permis, et d'autre part, des changements des revenus fiscaux induits par la variation du PIB. La différence entre les deux variantes de la première simulation provient de l'hypothèse sur le fonctionnement du marché du travail. La première variante considère une rigidité des salaires, alors que dans la seconde variante examine le cas d'une flexibilité des salaires.

Le prix du permis à 10$, exprimé en dollars constants de 2000, est maintenu constant sur tout l'horizon de simulation à partir de 2008[36]. Dans la réalité, le gouvernement ne peut compter indéfiniment sur le changement de son solde budgétaire pour absorber les impacts fiscaux de la politique, tout en assurant sa solvabilité inter-temporelle. Nous n'avons maintenu le financement de l'incidence fiscale par le solde budgétaire que jusqu'en 2012, qui est la dernière année de la première période d'engagement. À partir de 2013, le gouvernement est tenu de ramener le ratio de sa dette par rapport au PIB à la valeur de la situation de référence par une modification des transferts forfaitaires aux ménages.

---

[35] Voir Gouvernement du Canada (2002b).
[36] Cette hypothèse est légèrement différente de celle du modèle TIM dans lequel le prix réel du permis augmente de 5% par année.

Dans les deux autres simulations, nous analysons les impacts d'une augmentation du prix du permis et d'un bouclage alternatif du compte du gouvernement. Pour raison d'espace, nous ne considérerons qu'une seule variante du fonctionnement du marché du travail, dans la discussion des résultats de ces deux simulations. Nous retenons le cas de la rigidité des salaires, sans que ce choix ne présume d'une préférence particulière de cette option par rapport à la seconde.

La deuxième simulation, analyse l'impact d'une augmentation du prix du permis à 50$, avec un financement des incidences fiscales par la dette publique, en présence d'une rigidité des salaires. La troisième simulation examine l'impact d'un financement alternatif des incidences fiscales avec des permis à 10$ et en présence de rigidité des salaires. Dans cette dernière simulation, au lieu d'absorber les incidences fiscales par une variation de la dette, le gouvernement lève une nouvelle taxe sur les salaires des ménages afin de maintenir son solde budgétaire constant[37]. Le niveau de cette taxe, qui varie à chaque période sur tout l'horizon de simulation, est déterminé de façon endogène par le modèle. Le tableau 6 récapitule les principales caractéristiques des différentes simulations.

4.3 - Discussions des résultats de simulation

À moins d'une indication contraire, tous les résultats présentés dans ce texte sont exprimés en pourcentage de déviation par rapport à la situation de référence. En d'autres termes ces résultats expriment les changements par rapport aux valeurs qui auraient prévalu dans la situation de référence sans choc.

4.3.1 - Prix du permis à 10$ avec un financement par la dette avec et sans rigidité des salaires

Comparativement à la situation de référence, les principaux changements dans cette simulation proviennent: a) de la nécessité de détenir des permis (à un prix non nul[38]) pour les émissions couvertes par le SPAP; b) de la mise en place des mesures ciblées pour réduire les autres types d'émissions. Les efforts entrepris par les firmes pour réduire leurs émissions et l'augmentation des coûts liés à l'achat de permis affectent l'activité économique.

a) Impacts agrégés

Les tableaux 7 et 8 présentent les impacts de la politique de réduction des GES sur diverses variables agrégées en 2010 avec et sans rigidité des salaires.

---

[37] Par rapport à la valeur dans la situation de référence.

[38] Dans la situation de référence, les émissions couvertes par le SPAP représentaient un bien gratuit.

Cas avec salaires rigides

En présence de rigidité des salaires, les PIB réels, au prix du marché et au coût des facteurs, baissent respectivement de 0.69 et 0.67%. Le niveau général de l'emploi baisse de 0.54% et le taux de change réel se déprécie de 0.15%. Les réductions d'émissions de GES attribuables aux mesures ciblées et au système de permis s'élèvent à 120 Mt; les achats totaux de permis par les GEI sont de 10Mt de CO_2 éq.

Quoique l'impact sur le PIB au prix du marché en 2010 soit relativement faible, les différentes composantes de la demande finale agrégée sont néanmoins diversement affectées. La consommation réelle des ménages et l'investissement réel des firmes baissent davantage, respectivement, de 1.16 et 1.17%, alors que les exportations et les importations réelles ne chutent respectivement que de 0.08 et 0.63%. L'impact négatif plus prononcé sur la consommation des ménages et l'investissement comparativement aux autres composantes du PIB n'est pas surprenant. Puisque les ménages et les firmes sont dotés d'un comportement prospectif, la consommation et l'investissement ne dépendent pas uniquement des variables contemporaines; elles sont aussi tributaires de l'état de l'économie dans les périodes futures.

Étant donné l'hypothèse adoptée de 'Kyoto pour toujours', l'écart d'émission croît dans le temps. Cet écart grandissant exerce une pression à la hausse sur les achats de permis étrangers et a un impact négatif sur la balance courante. Il s'ensuit que la dette extérieure du pays augmente. Les ménages étant responsables de cette dette extérieure, leur richesse financière se détériore, justifiant ainsi la baisse relativement élevée de leur consommation agrégée en comparaison au PIB. Le maintien de l'équilibre inter-temporel de la balance des paiements exige alors une augmentation des exportations nettes qui est réalisée grâce à la dépréciation du taux de change réel.

Une caractéristique principale de la politique de contrôle des émissions contenue dans le plan de référence est l'importance accordée aux efforts d'épuration que les firmes doivent fournir. Les instruments de marché prévus par le plan de référence (permis échangeables) n'affectent pas directement les ménages dans leur comportement. En se référant aux résultats du tableau 8, le système de permis permet aux GEI de réduire leurs émissions de 38 Mt comparativement aux 48 Mt prévues par le plan de référence. Les mesures ciblées génèrent une réduction des émissions de 82 Mt comme convenu. En plus des réductions dues aux mesures ciblées les ménages baissent leurs émissions de 0.4 Mt.

En incluant les 30 Mt de crédits pour les puits de carbone, le niveau total des épurations de GES au Canada s'élève à 151 Mt. Ceci représente 89% de l'écart d'émissions de 170 Mt en 2010[39]. Afin d'atteindre leur cible de réduction de 48 Mt les GEI achètent 10 Mt de permis. Le gouvernement comble le reste de l'écart d'émission par l'achat de 9 Mt de crédits. Ainsi, les achats totaux de 19 Mt de permis par le gouvernement et les GEI sont entièrement couverts par les 20 Mt de crédits d'émissions générés par les compensations. Il s'ensuit que le Canada se retrouverait à vendre 1 Mt de crédits d'émissions sur le marché international en 2010. Cependant, à plus long terme, avec l'augmentation de l'écart d'émissions, le Canada devient un acheteur net de permis sur le marché international (voir tableau 17).

Cas avec salaires flexibles

Les caractéristiques des résultats agrégés obtenus en l'absence de rigidité des salaires sont globalement les mêmes que ceux obtenus dans le cas avec rigidité. La principale différence se trouve dans l'ampleur des variations du PIB et de ces composantes. La baisse du PIB n'est maintenant que de 0.06% en 2010 contre 0.69% précédemment. À l'instar de la simulation avec les salaires rigides, la consommation réelle des ménages est plus affectée que le PIB; les exportations réelles nettes sont relativement plus favorisées que la consommation pour les mêmes raisons évoquées précédemment.

À cause de la parfaite flexibilité des salaires, le travail a pu se réallouer facilement dans l'ensemble de l'économie. Les secteurs les moins affectés par la politique de réduction des GES ont pu bénéficier des ressources libérées par les autres, réduisant ainsi l'impact agrégé négatif sur le PIB et ses diverses composantes.

Les résultats agrégés ainsi présentés, qui ne résument que l'impact de la politique sur l'ensemble de l'économie canadienne, ne rendent pas compte de la nature des ajustements observés dans les différentes industries. Nous discutons ci-dessous des effets sectoriels ayant généré ces résultats agrégés en fournissant une explication intuitive et en faisant ressortir les principaux mécanismes de transmission en jeu.

b) Impacts sectoriels

Les instruments de politique proposés par le plan de référence pour contrôler les émissions des GES affectent de façon primordiale le comportement des firmes. Nous concentrerons nos discussions sur les ajustements dans le secteur productif, puis éluciderons brièvement les canaux de transmission des chocs vers le reste de l'économie.

[39] L'écart d'émission est normalement de 240 Mt. La valeur de 170Mt est nette des 70 Mt de crédit pour les exportations d'énergie que le Canada comptait obtenir.

Les tableaux 9 et 10 présentent les impacts sectoriels de la politique sur la production, la valeur ajoutée, l'emploi, l'investissement et la demande dérivée de produits énergétiques. Un examen de ces tableaux nous permet de constater que les industries sont diversement affectées. En général, les industries productrices d'énergie sont les plus affectées; elles sont suivies par les industries non-productrices d'énergie à haute intensité énergétique. Les industries les moins affectées sont les autres industries non-productrices d'énergie à faible intensité énergétique. Par exemple, en présence de rigidité des salaires, alors que la valeur ajoutée baisse dans les industries du charbon, du pétrole & gaz naturel, de l'électricité et du ciment, respectivement de 4.5, 2.1, 2.4 et 1.0% en 2010, cette variable n'enregistre qu'une faible diminution de 0.1% dans le secteur agricole. On enregistre même une augmentation du PIB sectoriel dans l'industrie des autres produits manufacturiers dans la simulation avec salaires rigides. Cette dernière industrie bénéficie de la recomposition de la demande, suite à la désaffection des agents économiques pour les produits polluants. En plus, la dépréciation du taux de change réel favorise les exportations de cette industrie.

La baisse de la production observée dans certaines industries est la conséquence des efforts d'épuration entrepris par les firmes à travers le système de permis et les mesures ciblées. Le tableau 11 présente les variations sectorielles des émissions totales de GES et des émissions de GES couvertes par le SPAP [40]. On constatera que les efforts de réduction des GES sont les mêmes avec et sans rigidité des salaires. Les industries du pétrole brut & gaz naturel, du fer & acier, des pipelines et de la production électrique, sont celles qui fournissent les plus gros efforts d'épuration. En comparaison à la situation de référence, ces industries réduisent les émissions liées au système de permis dans des proportions variant entre 11 et 26%. Les autres GEI ne réduisent ce type d'émission que de dans de plus faibles proportions généralement inférieures à 10%.

Il existe trois canaux à travers lesquels les firmes peuvent réduire leurs émissions de GES : a) baisser leur production; b) substituer entre les intrants fossiles et/ou c) investir dans le capital. Les deux derniers canaux contribuent à réduire l'intensité d'émission de la firme, tandis que le premier contribue à réduire son niveau d'activité. Dans toutes les industries, la réduction des émissions a été réalisée essentiellement par le truchement d'une baisse de l'intensité d'émission, comparativement à une réduction de la production. Comme l'indique le tableau 11, la part de la baisse de l'intensité d'émission dans la réduction totale des émissions liées au système d'échange est plus importante que la contribution de la baisse de la production. Par exemple, dans la

[40] Le modèle a fait l'hypothèse que les mesures ciblées sont efficaces pour générer les réductions escomptées d'émissions.

simulation avec salaire rigide, la baisse des émissions totales[41] est de 25.9% dans l'industrie du pétrole brut & gaz naturel, alors que la contribution de la baisse des intensités d'émission est de 23.6%.

La prépondérance de la contribution de la baisse des intensités d'émissions n'est pas surprenante à la lumière du système de permis mis en place. Tel que nous l'expliquions dans la section traitant du modèle, le système de permis incite les firmes à ne pas réduire leur production afin de recevoir le plus grand nombre de permis gratuits. Les permis gratuits étant assignés en fonction de la production de la période courante et de la cible assignée d'intensité d'émissions, les firmes sont plus incitées à utiliser le canal de réduction de leur intensité d'émissions.

Ainsi, la nécessité de détenir des permis payants, augmente le coût d'utilisation des intrants énergétiques fossiles dont les utilisations génèrent des GES. Le changement de prix relatifs induit les firmes à faire des substitutions entre les facteurs de production à plusieurs niveaux afin de minimiser leur coût de production. Au niveau des produits énergétiques fossiles, les firmes substituent l'intrant le plus polluant par le moins polluant.

En se référant aux résultats du tableau 10, dans les deux variantes, la baisse de la demande de charbon est plus importante que celle des autres produits fossiles dans de nombreuses industries. À un autre niveau de la structure technologique, les firmes substituent l'énergie fossile pour l'énergie électrique devenue relativement moins chère, bien que son coût de production ait aussi augmenté. Dans certaines industries, telles que celles du papier et du ciment, on note une augmentation de la demande d'énergie électrique alors que celle de l'énergie fossile diminue. Dans d'autres industries, telles que celle du pétrole brut & gaz naturel, on observe une diminution moins importante de la demande d'électricité par rapport à celle de l'énergie fossile.

Notons que les efforts d'épuration des GES par l'intermédiaire des mesures ciblées engendrent une augmentation (ne serait-ce que faible) du coût de production des firmes, bien que le gouvernement ait payé pour les dépenses liées à ces mesures ciblées. La logique soutenant cette augmentation de coût de production est relativement simple. Nous supposons que les firmes sont rationnelles, c'est-à-dire qu'elles choisissent toujours la combinaison de facteurs la moins coûteuse. À un même vecteur donné de prix des facteurs et du produit, aucune autre combinaison d'intrants ne peut être moins coûteuse que celle initialement choisie. Il s'ensuit qu'avec des mesures ciblées payées par le gouvernement, le profit de la firme avec la nouvelle combinaison de facteurs ne peut être qu'inférieur ou au mieux égal au précédent niveau. En d'autres termes, si la combinaison de facteurs initialement utilisée était celle générant le profit maximum, la nouvelle combinaison induite par la nouvelle réglementation ne peut pas être plus

[41] Admissibles dans le SPAP.

profitable. Dans ces conditions, la mise en œuvre des mesures ciblées se traduira par une augmentation (ne serait-ce que faible) des coûts de production de la firme.

Les augmentations de coût de production de la firme découlant du système de permis et de la mise en oeuvre des mesures ciblées provoquent un déplacement vers le haut de la courbe d'offre de la firme. Toutefois, ce déplacement vers le haut est atténué par un mouvement inverse vers le bas qui est induit par l'incitatif à la production découlant du système d'attribution des permis. Comme nous l'expliquions plus haut, le système d'attribution des permis octroie un incitatif à la production à la firme pour l'encourager à ne pas réduire sa production. L'importance de cet incitatif varie selon les industries et dépend du prix du permis et de la cible assignée d'intensité d'émissions.

En présence de rigidité des salaires, dans la plupart des industries, l'incitatif à la production n'est pas suffisant pour annuler complètement l'impact négatif de l'augmentation du coût de production sur la demande du produit[42]. L'offre de la firme baisse légèrement partout, à l'exception de l'industrie du sidérurgique et de l'industrie des autres produits manufacturiers, où la production augmente de 0.12 % en 2010. Dans ces deux industries, l'impact de l'incitatif sur l'offre domine celui de l'augmentation des coûts de production qui a été contenu grâce à une modification significative de l'intensité d'émissions.

En effet, parce que ces deux industries ont su réduire de façon appréciable leur intensité d'émission, elles ont su amoindrir l'impact du prix du permis sur le coût de production. De plus, ces deux industries sont celles qui ont le plus bénéficié de la dépréciation du taux de change réel nécessaire pour maintenir l'équilibre inter-temporel de la balance des paiements. Toutefois, signalons que l'augmentation de la production enregistrée dans l'industrie sidérurgique ne s'est pas traduite en un accroissement de la valeur ajoutée, qui a plutôt baissé de 0.96%.

En présence de rigidité salariale, la réallocation du facteur travail dans les diverses industries est imparfaite. La rigidité à la baisse du taux de salaire empêche l'égalisation de l'offre et de la demande de travail. Le niveau d'emploi baisse dans la plupart des industries et n'augmente légèrement que dans quelques-unes seulement.

Par contre, dans le scénario avec salaires flexibles, la parfaite réallocation du travail dans l'économie est profitable à d'autres industries, telles que celles des 'pâtes et papier', des produits chimiques et de production de l'électricité. Elles ont pu bénéficier de la baisse du salaire réel, de sorte que leur production croît, alors qu'elle avait baissé en présence de rigidité des salaires. En

[42] En l'absence de cet incitatif à la production, l'augmentation des coûts découlant des efforts d'épuration se traduit par une plus importante baisse de l'offre de la firme. Dans des simulations non reportées, l'impact négatif sur les firmes est encore plus important dans le cas où les permis seraient attribués gratuitement aux firmes sans une référence à leur production de la période courante. La baisse du PIB aurait été de 0.92% en 2010 contre 0.69% dans le présent cas.

particulier, l'industrie de production d'électricité a profité de l'accroissement de la demande locale pour son produit consécutive à l'expansion de nombreuses industries.

La dépréciation du taux de change réel, qui rend les importations plus chères, favorise les firmes canadiennes et atténue l'impact négatif des efforts de réduction des GES. Dans les deux variantes, lorsque la demande totale intérieure d'un produit baisse, les importations diminuent de façon plus importante que la composante domestique dans de nombreuses industries (tableau 12).

Dans les deux scénarios, l'impact sur les prix d'achat[43] des produits n'est pas très élevé. En particulier, cet impact est relativement faible pour les produits énergétiques en 2010 (tableau 13.) Les prix d'achat des produits énergétiques baissent malgré la hausse du coût de production de ces biens, à cause de la baisse plus prononcée de la demande pour ces produits[44]. Seuls les prix de l'essence et du diesel augmentent d'environ 1.5% dans les deux variantes. Ces deux derniers produits sont plus utilisés dans les activités de transport dont les demandes dérivées sont relativement inélastiques.

c) Impacts régionaux

Dans cette section, nous discutons de l'impact potentiel de la politique sur le produit intérieur brut au coût des facteurs dans différentes régions du Canada. Il est intéressant de souligner que les résultats régionaux que nous présentons ne proviennent pas directement du présent modèle national qui n'a aucune dimension régionale. Nous avons suivi la méthode suggérée par Peluso (2000) pour calculer les impacts potentiels de la politique sur le PIB au coût des facteurs de chaque région du Canada en utilisant : a) les résultats des impacts sur le PIB sectoriel fourni par le modèle national; b) les parts fixes de la répartition régionale du PIB sectoriel du Canada. Le modèle national ne distingue qu'une seule industrie agrégée de production d'électricité. Des ajustements qui tiennent compte de la distribution géographique des diverses modes de production de l'électricité (à partir de la force hydroélectrique, du charbon, du gaz naturel, etc..) ont été apportés[45].

Le tableau 14 présente les impacts régionaux de la politique du contrôle des émissions de GES sur le PIB des différentes régions du Canada. Comme on pouvait s'y attendre, les régions les plus touchées sont celles où prédominent les industries de production d'énergie et celles à haute intensité énergétique. La région de l'Alberta est un peu plus touchée que les autres avec une baisse de 1.22% du PIB au coût des facteurs en 2010 suivie par la Saskatchewan dans le scénario avec

[43] Étant donné l'hypothèse de différenciation des produits au niveau de la demande, le prix d'achat est une moyenne des prix du bien importé et du bien d'origine locale.
[44] Il s'agit d'une variation du prix relatif qui ne prend pas en considération l'inflation.
[45] Voir Peluso (2000) pour de plus amples informations sur la méthode de calculs des impacts régionaux.

rigidité des salaires. Le Québec est la région la moins touchée; son PIB ne baisse que 0.24%. La faiblesse de l'impact sur le PIB du Québec s'explique par le mode de production de l'électricité dans cette province. L'abondance de l'hydroélectricité réduit l'impact négatif des efforts d'épuration sur le coût de l'énergie dans cette région.

On signalera que bien que certaines régions du Canada soient plus touchées que d'autres, le fardeau des efforts d'épuration est généralement réparti dans tout le pays. Le système d'attribution des permis gratuits, qui encourage les firmes à plus réduire leurs intensités d'émissions qu'à réduire leur production, explique en grande partie la distribution obtenue.

4.3.2 - Autres simulations

Afin de mieux comprendre les résultats du modèle nous avons effectué deux autres simulations relatives: a) au prix du permis; b) au bouclage du compte du gouvernement. Les principaux éléments du plan de réduction des émissions de GES demeurent les mêmes que dans les simulations présentées plus haut. Les mécanismes de transmission en jeu dans ces nouvelles simulations sont globalement identiques à ceux identifiés plus haut. Afin d'éviter des répétitions, nous nous contenterons de mentionner les différences notables d'avec les simulations précédentes.

a) Simulation 2: impact d'un prix de permis plus élevé avec financement par la dette et en présence de rigidité salariale

La seule différence entre cette simulation et celle avec rigidité analysée ci-dessus est le prix du permis qui est maintenant de 50$ canadiens/tonne de CO_2 éq. Les incidences fiscales de la politique sont toujours financées par une augmentation de la dette du gouvernement jusqu'à la fin de la première période d'engagement. Le prix de 50$ a été choisi dans le but d'illustrer les impacts d'un prix plus élevé du permis sur le marché international. Cette valeur constitue la borne supérieure de la fourchette de prix du permis international qu'a établie un groupe d'experts internationaux réunis dans le cadre du GAM[46].

Une augmentation du prix du permis échangeable a deux principaux effets qui peuvent être antagonistes. Un prix plus élevé du permis augmente, d'une part, la pénalité sur les émissions. D'autre part, l'augmentation du prix accroît l'incitatif à la production à la production. L'accroissement de la pénalité augmente les coûts de production et a un impact négatif sur la production des firmes. Par contre, l'augmentation de l'incitatif sur la production a un impact positif sur la production car les firmes sont plus incitées à ne pas réduire leur production. Elles

[46] Voir Gouvernement du Canada (2002a).

sont plutôt incitées à réduire leurs intensités d'émission. Toutefois, les efforts accrus de réduction de l'intensité d'émission ne sont pas bénéfiques aux producteurs d'énergie fossiles qui enregistrent une plus forte baisse de la demande pour leurs produits.

Ainsi, avec un prix de permis plus élevé, l'effet positif de l'incitatif sur la production peut à court terme dominer l'effet négatif de l'augmentation du coût d'épuration. La production de certains GEI pourrait alors être moins affectée en comparaison à un prix de permis plus bas. Par contre, les producteurs d'énergie enregistrent une plus forte baisse de leur production à cause de la désaffection accrue pour leurs produits.

Le tableau 15 présente les résultats agrégés en 2010 d'un prix de 50$ pour le permis international. On peut noter que l'impact négatif sur le PIB est moins important que celui obtenu à un prix de 10$ en 2010. Ce résultat qui est dû à un effet de composition se comprend mieux à la lumière des explications fournies plus haut et des impacts sectoriels que nous ne présentons pas pour raison d'espace. La faiblesse de l'impact sur le PIB à 50$, en comparaison à celui à 10$, est dû à deux industries non productrices d'énergie appartenant au groupe des GEI (papier et autres produits manufacturiers.) Ces deux industries ont su mieux profiter du plus haut niveau de l'incitatif à la production. Leur PIB sectoriel a augmenté, alors que celui de toutes les autres industries appartenant aux GEI s'est davantage détérioré en comparaison avec la simulation du prix de 10$.

Toutefois, à cause de la nature croissante de l'écart d'émission,[47] qui réduit l'ampleur relative de l'incitatif à la production, l'augmentation de la production de certains GEI en 2010 n'est que temporaire. Elle est appelée à disparaître à plus long terme. Ceci se reflète par exemple en en 2030 où la chute du PIB est plus importante que celle enregistrée à 10$ (tableau 16.)

Finalement, notons que bien que le PIB soit moins affecté en 2010 avec le permis à 50$, comparativement au prix de 10$, tel n'est pas le cas pour la consommation et l'investissement (voir tableau 15.) À 50$, la consommation agrégée des ménages est plus affectée que dans la situation à 10$ à cause de l'impact négatif plus prononcé sur le revenu permanent. Le même résultat s'observe aussi pour l'investissement total réel des firmes qui ont un comportement prospectif.

b) Simulation 3: : prix du permis à 10$ avec financement par une nouvelle taxe et présence rigidité des salaires

[47] Étant donné l'hypothèse 'Kyoto pour toujours' qui maintient la cible des émissions constantes, la croissance des émissions dans la situation de référence se traduit par un écart croissant d'émissions dans le temps.

La principale différence entre la présente simulation et la précédente simulation à 10$ avec rigidité se situe dans le mode de financement des incidences fiscales. Contrairement aux simulations précédentes dans lesquelles une variation des transferts forfaitaires aux ménages est utilisée pour maintenir l'équilibre budgétaire inter-temporel du gouvernement, une nouvelle taxe sur les revenus salariaux des ménages est considérée dans la présente simulation. De plus, cette taxe est prélevée sur toutes les périodes de manière à garder le solde budgétaire constant à sa valeur de la situation de référence. Comme nous le mentionnons plus haut, à cause du mode de détermination des salaires, la nouvelle taxe est entièrement absorbée par le taux salaire payé par les firmes.

À l'opposé de la simulation précédente, la nouvelle taxe introduit une distorsion supplémentaire dans l'allocation des ressources. Le tableau 15 présente les résultats de cette simulation sur certaines variables agrégées en 2010. Le PIB réel au prix du marché baisse de 0.90% comparativement à 0.69% dans la principale simulation. De la même manière, la consommation agrégée des ménages est aussi plus affectée en 2010.

Puisque le niveau d'emploi dans l'économie est déterminé par les firmes, la nouvelle taxe sur les salaires a un impact direct sur la demande de travail et par conséquent sur les coûts de production. La production sectorielle des firmes est plus affectée et les revenus salariaux versés aux ménages baissent davantage. Avec un écart d'émissions croissant dans le temps, la distorsion introduite part la nouvelle taxe devient plus importante. Le revenu permanent des ménages baisse davantage, justifiant ainsi une baisse plus importante de la consommation agrégée des ménages qui s'accompagne d'une dépréciation plus forte du taux de change réel. Enfin, les exportations nettes sont moins affectées en comparaison à la simulation utilisant une taxe forfaitaire.

5 - Conclusions

Nous avons présenté un modèle d'équilibre général inter-temporel et multi-sectoriel, avec lequel nous avons analysé les implications potentielles d'une mise en œuvre du plan de référence pour contrôler des émissions de GES au Canada. Nous avons analysé les impacts potentiels à court et à long terme sur diverses variables agrégées et sectorielles. Une caractéristique particulièrement attractive de ce plan est l'utilisation d'un système de permis échangeables avec allocation basée sur la production.

Les résultats de simulation suggèrent, qu'alors que l'impact du plan de référence sur le PIB réel est modeste, particulièrement lorsqu'il n'y a pas de rigidité salariale, celui enregistré sur la consommation agrégée des ménages est un peu plus important. L'augmentation dans le temps du

nombre de permis étrangers achetés, qui résulte de la croissance de l'écart d'émissions, n'est pas favorable aux ménages qui subissent une réduction de leur revenu permanent.

L'analyse du plan de référence a permis de noter que le système permis proposé, qui attribue des permis gratuits en fonction de la production, atténue grandement l'impact de la politique de contrôle des émissions sur la production et la compétitivité des firmes canadiennes. Ce système incite fortement les firmes à ne pas baisser leur production afin de réduire leurs émissions. Il les incite plutôt à réduire leurs intensités d'émissions. Il contribue dans une certaine mesure à atténuer les diversités sectorielle et régionale du fardeau national de réduction des GES.

Si la comparaison des résultats de modèles utilisant différents cadres d'analyse n'est pas aisée, nous ne manquerons pas de situer les résultats du présent modèle par rapport à ceux obtenus par TIM-E2020[48]. Il est intéressant de noter que l'impact sur le PIB (-0.4%), fourni dans l'analyse du secteur privé (modèles TIM-E2020), est compris entre les résultats du présent modèle, dans les cas d'un permis à 10$ avec et sans rigidité salariale, qui sont respectivement de -0.69% et -0.06%[49].

Nous terminerons en signalant que le plan de référence que nous avons analysé ne fournit qu'une indication limitée des impacts potentiels d'une politique de réduction des émissions de GES au Canada. L'analyse ignore plusieurs facteurs qui peuvent avoir une incidence sur l'ampleur de l'impact économique. Par exemple, la présente étude a pris pour acquises les crédits de 70 Mt pour l'exportation de l'énergie propre tel que suggéré par le plan de référence. Par ailleurs, elle n'a

---

[48] Voir Gouvernement du Canada (2002b).

[49] Au minimum quatre raisons, dont on peut difficilement quantifier les contributions marginales, peuvent être citées pour expliquer les différences entre les résultats de ce modèle et ceux obtenus dans l'analyse réalisée à l'aide des modèles TIM et E2020. Premièrement, la présente étude est basée sur un seul modèle utilisant une approche en équilibre général dynamique qui dote les ménage et les firmes d'un comportement prospectif. Par contre, l'étude utilisant le couple TIM-E2020 est basée sur la combinaison d'un modèle technologique (microéconomique), E2020, et d'un modèle macro-économétrique, TIM, qui ne dote pas les agents d'un comportement prospectif. Deuxièmement, les deux études utilisent différentes spécifications des paramètres de comportement des firmes et des ménages. Troisièmement, le présent modèle garde le prix réel du permis international constant, alors que ce dernier augmente dans le temps dans l'analyse de TIM-E2020. Finalement, le cas de référence simulé à l'aide du présent modèle est légèrement différent de celui utilisé par le couple TIM-E2020. La présente étude considère une cible de réduction des émissions de GES de 48Mt pour les GEI, alors que TIM-E2020 considère une cible de 55Mt.

pas tenu compte des co-bénéfices, liés à la réduction des GES, ni des avancées technologiques pouvant réduire les émissions.

References

ab Iorwerth, A. et al. (2000): A Computable General-equilibrium Analysis of Greenhouse-Gas Reduction Paths and Scenarios, dans Analysis Modelling Group - National Climate Change Process (éds.), *An Assessment of the Economic and Environmental Implications for Canada of the Kyoto Protocol*, Ottawa, Canada.
(disponibilité: http://www.nccp.ca/NCCP/pdf/AMG_finalreport_eng.pdf)

AMG (1999): *Canada's Emissions Outlook: An Update*, National Climate Change Process, Ottawa, Canada.

Armington, P.S. (1969): A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production, *International Monetary Fund Staff Papers*, 16, 1, pp. 159-78.

Bagnoli, P. (2001) Implementing the Kyoto Agreement Using Tradable Permits: The International Context for Canada, *Department of Finance Working Paper no. 2001-24*, Ottawa, Canada.

Bernard, A. L., C. Fischer and M. Vielle (2001): Is There a Rationale for Rebating Environmental Levies?, *Resources for the Future Discussion Paper*, 01/31.

Bovenberg, A. L. et L.H. Goulder (2000): Neutralizing the Adverse Industry Impacts of CO2 Abatement Policies: What Does it Cost?, *National Bureau of Economic Research Working Paper* 7654.

Bowitz, E. et A. Cappelen (2001): Modeling Income Policies: Some Norwegian Experiences 1973-1993, *Economic Modelling*, 18, 3, pp. 349-79.

Budd, J.W. (1996): "Union Wage Determination in Canadian and U.S. Manufacturing, 1964-1990: A Comparative Analysis", *Industrial and Labor Relations Review*, 49, 4, pp. 673-89.

Bye, B. (2002): "Taxation, Unemployment, and Growth: Dynamic Welfare Effects of "Green" Policies", *Journal of Environmental Economics and Management*, 43,1, pp. 1-19.

Dalen, D.M., N. M. von der Fehr et E.R. Moen (2003): "Regulation with Wage Bargaining", *Economic Journal*, 113, 487, pp. 525-38

Dissou, Y. (2002): "Dynamic Effects in Senegal of Regional Trade Agreement among UEMOA Countries," *Review of International Economics*, 10, 177-199.

Dissou, MacLeod et Souissi (2002): "Compliance Costs to the Kyoto Protocol and Market Structure in Canada: A Dynamic General Equilibrium Analysis", *Journal of Policy Modeling*, 24, 7-8, pp. 751-79.

Fischer, C. (2001): Rebating Environmental Policy Revenues: Output-Based Allocations and Tradable Performance Standards, *Resources for the Future Discussion Paper* 01/22.

Gagnon, J. E. (1990): "Solving Stochastic Growth Model by Deterministic Extended Path," *Journal of Business Economics and Statistics*, 8, 35-38.

Gali, J. (1996): Unemployment in Dynamic General Equilibrium Economies, *European Economic Review*, 40, 3-5, pp. 839-45.

Goulder, L. H., et al. (1999): "The Cost- Effectiveness of Alternative Instruments for Environmental Protection in a Second-Best Setting," *Journal of Public Economics*, 72, 329-360.

Goulder, L. H. (2001): "Confronting the Adverse Industry Impacts of CO2 Abatement Policies: What Does It Cost?" *Resources for the Future - Climate Change, Economics and Policy: an RFF Anthology*, pp. 125-33.

Gouvernement du Canada (2002a): *Document de discussion sur la contribution du Canada à la lutte contre les changements climatiques*, Ottawa, Canada.

Gouvernement du Canada (2002b): *Les changements climatiques - respecter nos engagements ensemble : Plan du Canada sur les changements climatiques*, Ottawa, Canada.

Gu, W. et P. Kuhn (1998): "A Theory of Holdouts in Wage Bargaining", *American Economic Review*, 88, 3, pp. 428-49.

Hayashi, F. (1982): "Tobin's Marginal q and Average q: A Neoclassical Interpretation," *Econometrica*, 95, 151-193.

Keuschnigg, C, et W. Kohler (1994): "Modeling Intertemporal General Equilibrium: An Application to Austrian Commercial Policy", *Empirical Economics*, 19, 1, pp. 131-64.

Kirchgässner, G., U. Muller et M. Savioz (1998): "Ecological Tax Reform and Involuntary Unemployment: Simulation Results for Switzerland", *Journal of Economics and Statistics*, 134, 3, pp. 329-53.

Loulou, Richard et Amit Kanudia (1999): "The Kyoto Protocol, Inter-provincial Cooperation, and Energy Trading: A Systems Analysis with Integrated MARKAL Models" *Energy Studies Review*, 9, 1, pp. 1-23.

Mansur, A. H. et J. Whalley (1984): "Numerical Specification of Applied General Equilibrium Models: Estimation, Calibration, and Data" in *Applied General Equilibrium Analysis, 1984*, pp. 69-127, Cambridge, New York and Sydney: Cambridge University Press.

Peluso, T. (2000): Obtaining Provincial Results from National Estimates of the Economic Impact of Greenhouse Gas-Reduction Policies: A Progress Report, mimeo, ESPAD, Finance of Canada.

Stemer, T. et L. Höglund (2000): "Output-Based Refunding of Emission Payments: Theory, Distribution of Costs, and International Experience", *Resources for the Future Discussion Paper* 00/29.

Wigle, R. (2001): "Sectoral Impact of Kyoto Compliance," *Industry Canada Research Publications Program*, WP 34.

Tableau 1: Quelques caractéristiques de la matrice de comptabilité sociale du Canada projetée pour l'an 2010

Industries	PIB au coût des facteurs (parts en %)	Consommation des ménages (parts en %)	Exportations (parts en %)	Importations (parts en %)	Exportations en % de la production	Ventes sur le marché domestique en % de la production	Importations en % de la demande intérieure totale	Produits locaux en % de la demande intérieure
Agriculture	2.7	1.4	3.2	1.3	19.9	80.1	8.5	91.5
Mines	1.4	0.0	2.4	1.0	41.3	58.7	20.8	79.2
Charbon	0.1	0.0	0.4	0.3	68.8	31.2	58.3	41.7
Pétrole brut et gaz	3.6	0.3	6.5	2.3	59.9	40.1	32.5	67.5
Pâte et papier	2.6	1.1	7.1	2.9	49.6	50.4	26.5	73.5
Ciment	0.1	0.0	0.1	0.0	32.2	67.8	8.7	91.3
Fer et acier	0.5	0.0	1.1	1.5	29.4	70.6	33.5	66.5
Métaux non-ferreux	0.5	0.0	4.4	2.1	76.9	23.1	59.2	40.8
Produits chimiques	1.7	1.4	3.8	6.4	37.1	62.9	47.4	52.6
Autres produits manufacturiers	13.4	19.8	52.8	64.7	55.0	45.0	57.4	42.6
Raffinage de pétrole	0.1	1.4	1.4	1.0	20.0	80.0	14.5	85.5
Pipelines	0.9	0.6	0.7	0.2	25.1	74.9	7.2	92.8
Électricité	2.6	2.3	0.4	0.1	5.0	95.0	0.6	99.4
Industrie du transport	3.1	2.2	3.0	2.2	20.4	79.6	14.4	85.6
Services	66.6	69.2	12.8	12.5	4.9	95.1	4.3	95.7
Importations non-compétitives	0.0	0.2	0.0	1.5	-	-	100.0	0.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	-	-	-	-

Source: Statistiques Canada, données d'origines diverses et calculs des auteurs

-: sans objet

Tableau 2: Cibles assignées d'intensité d'émission aux GEI exprimées en % de variation de l'intensité d'émission de la situation de référence*

Grand émetteurs industriels	Variation en % par rapport à la situation de référence
Mines	-6.8
Pétrole brut et gaz	-4.5
Pâte et papier	-10.8
Ciment	-3.5
Fer et acier	-7.7
Métaux non-ferreux	-5.7
Produits chimiques	-2.7
Autres produits manufacturiers	-3.6
Raffinage de pétrole	-8.3
Pipelines	-7.5
Électricité	7.2
Moyenne Grands émetteurs industriels (GEI)	7.0

Source: Groupe de travail sur les permis échangeables (GTPE) et calculs des auteurs

* *Les valeurs de ces cibles ne constituent que des hypothèses de travail du GTPE.*

Tableau 3: Valeurs de quelques paramètres de comportement empruntées à la littérature

Paramètres	Valeurs
Élasticité de substitution entre valeur ajoutée-énergie & intrants intermédiaires	0.2-0.7
Élasticité de substitution entre travail & capital-énergie	1.0
Élasticité de substitution entre captal & énergie	0.25-0.8
Élasticité de substitution entre électricité & énergie fossile	0.5-0.7
Élasticité de substitution entre carburants fossiles (stationnaires)	0.4-0.7
Élasticité de substitution entre autres intrants intermédiaires & carburants de locomotion	0.2-0.8
Élasticité de substitution entre carburants de locomotion	1.0
Paramètre de coût d'ajustement du capital	3.0
Taux de dépréciation du capital	0.06
Taux de croissance de la population incluant le progrès technologique en %	2.3
Élasticité de substitution entre bien importé et bien d'origine locale	0.75-2.5
Élasticité de substitution entre bien exporté et bien d'origine locale	2.0
Élasticité de substitution entre les produits d'une même industrie*	2.0
Taux d'intérêt réel mondial en %	6

Sources: Études diverses

** Dans le cas des industries fabricant plus d'un seul produit*

Tableau 4: Objectifs de réduction des émissions en Mt de CO2 éq. en 2010 selon le plan de référence de Septembre 2000*

Secteurs et instruments	Plan de référence		Plan officiel	
	Décomposition (Mt)	Objectifs de réduction en Mt	Décomposition (Mt)	Objectifs de réduction en Mt
Grands émetteurs industriels (GEI)		94		96
dont par le système de permis	48		55	
dont par les mesures ciblées	46		41	
Autres agents économiques		37		28-33
dont par le système de permis	0		0	
dont par les mesures ciblées	37		28-33	
Actions futures		0		60-66
Achats de permis par le gouvernement		10		> 12
Crédits d'émissions		100		38
dont crédits pour puits de carbone	30		38	
dont crédits pour exportation d'énergie propre	70		0	
Total		**240**		**240**

Source: Groupe d'analyse et de modélisation (GAM) sur le changement climatique

** Cette répartition des objectifs de réduction est conforme aux premières versions du plan présentées par le GAM. Toutefois elle diffère légèrement de la répartition analysée dans Gouvernement du Canada (2002).*

Tableau 5: Quelques caractéristiques des émissions sectorielles en 2010

	Parts dans les émissions industrielles totales (%) *	Taux de couverture des émissions industrielles par le système de permis**
Agriculture	14	0
Mines	1	100
Charbon	1	0
Pétrole brut et gaz	15	69
Raffinage de pétrole	5	100
Pipelines	5	71
Électricité	19	81
Pâte et papier	2	100
Ciment	2	88
Fer et acier	3	100
Métaux non-ferreux	3	98
Produits chimiques	5	64
Autres prod. manufact.	4	15
Industrie du transport***	10	0
Services	13	0

Source: Statistiques Canada, Ressources Naturelles Canada, Groupe de travail sur les permis échangeables et calculs des auteurs

** Les émissions industrielles excluent celles liées aux activités de transport c'est-à-dire celles provenant des sources mobiles telles que l'essence, le diesel et autres.*

*** À cause des difficultés de mesure et de suivi, toutes les émissions industrielles ne peuvent être couvertes par le système de permis échangeables*

****: Les émissions de l'industrie du transport ne sont pas identiques aux émissions liées aux activités de transport qui sont effectuées dans plusieurs autres industries autres que celle du transport. L'industrie du transport est définie comme celle ayant le transport comme principale activité.*

Tableau 6: Caractéristiques des diverses simulations

	Simulation 1a	Simulation 1b	Simulation 2	Simulation 3
Prix du permis en $/tonne de CO_2*	10	10	50	10
Salaires rigides	Oui	Non	Oui	Oui
Financement de l'incidence fiscale de la politique	Dette publique	Dette publique	Dette publique	Nouvelle taxe sur les salaires

Source: Auteurs

** Le prix du permis qui est exprimé en $ de 2000 est constant pendant toutes les années à partir de 2008*

Tableau 7: Impacts sur quelques variables agrégées dans les simulations avec permis à 10$, avec financement par la dette, et avec/sans rigidité salariale en 2010
(Déviation en % par rapport à la situation de référence)

	Salaire rigide	Salaire flexible
PIB réel au prix du marché	-0.69	-0.06
PIB réel au coût des facteurs	-0.67	-0.06
Emploi	-0.54	0.14
Consommation agrégée réelle des ménages	-1.16	-0.28
Investissement réel total	-1.16	-0.19
Exportations réelles totales	-0.08	0.43
Importations réelles totales	-0.63	0.09
Taux de change réel*	0.15	0.14

Source: Résultats de simulation

** Un nombre positif est synonyme d'une dépréciation*

Tableau 8: Impacts sur les émissions dans les simulations avec permis à 10$, avec financement par la dette, et avec/sans rigidité salariale en 2010

	Salaire rigide	Salaire flexible
Écart d'émission en Mt de CO2 éq.*	170	170
Réduction domestique en % de l'écart (sans les compensations)	89	88
Réduction domestique Mt CO2 éq. (sans les compensations)	151	149
Réduction due au système de permis (Mt)	38	37
Réduction due aux mesures ciblées (Mt)	82	82
Autres réductions par les ménages (Mt)	0.4	0
Réduction due aux puits de carbone	30	30
Achats totaux de permis par les GEI en Mt (incl. les compensations)	10	11
Achats totaux de permis par le gouvernement en Mt (incl. compensations)	9	10
Achats totaux de permis	19	21
Compensations	20	20
Permis internationaux	-1	1

Source: Résultats de simulation

** Cet écart est net des 70 Mt de crédits d'émissions pour l'exportation de l'énergie propre*

Tableau 9: Impacts sectoriels sur la production, l'emploi et l'investissement dans les simulations avec permis à 10$, avec financement par la dette, et avec/sans rigidité salariale en 2010
(Déviation en % par rapport à la situation de référence)

Industries	Production		Valeur ajoutée		Emploi		Investissement réel	
	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire flexible
Agriculture	-0.05	0.55	-0.04	0.57	0.00	0.69	-0.21	0.85
Mines	-0.41	-0.01	-0.41	-0.01	-0.30	0.19	-1.33	-0.45
Charbon	-4.71	-4.37	-4.47	-4.12	-5.07	-4.64	-9.54	-8.72
Pétrole brut et gaz	-1.81	-1.36	-2.10	-1.65	-1.45	-0.90	-3.20	-2.27
Pâte et papier	-0.16	0.32	-0.31	0.18	-0.04	0.55	-0.63	0.34
Ciment	-0.96	-0.39	-1.01	-0.40	1.09	1.73	-2.96	-1.97
Fer et acier	0.12	0.67	-0.96	-0.39	1.09	1.75	-0.52	0.59
Métaux non-ferreux	-0.47	-0.26	-0.80	-0.57	-0.21	0.08	-2.60	-1.80
Produits chimiques	-0.38	0.11	-0.49	0.01	-0.20	0.40	-0.84	0.13
Autres prod. manufact.	0.12	0.73	0.12	0.73	0.12	0.81	-0.01	1.09
Raffinage de pétrole	-2.32	-1.71	-3.51	-2.84	-0.33	0.41	-1.48	-0.49
Pipelines	-2.25	-1.70	-2.84	-2.29	-1.30	-0.63	-2.67	-1.69
Électricité	-0.38	0.27	-2.43	-1.77	1.63	2.38	-3.73	-2.73
Industrie du transport	-0.49	0.15	-0.43	0.21	-0.46	0.28	-0.82	0.17
Services	-0.69	-0.06	-0.70	-0.07	-0.71	-0.03	-1.05	-0.22

Source: Résultats de simulation

Tableau 10: Impacts sectoriels sur demande d'énergie dans les simulations avec permis à 10$, avec financement par la dette, et avec/sans rigidité salariale en 2010

(Déviation en % par rapport à la situation de référence)

Industries	Demande totale énergie		Demande électricité		Demande énergie fossile		Demande charbon		Demande gaz naturel		Demande produits pétroliers raffinés	
	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire flexible
Agriculture	-0.25	0.26	0.53	1.04	-1.72	-1.23	0.00	0.00	-1.73	-1.25	-1.69	-1.17
Mines	-1.34	-0.98	-0.37	0.00	-3.21	-2.87	-0.59	-0.22	-2.83	-2.49	-4.47	-4.11
Charbon	-4.16	-3.87	-4.17	-3.87	-4.16	-3.88	-4.22	-3.91	-4.15	-3.87	-4.21	-3.91
Pétrole brut et gaz	-17.05	-16.67	-2.66	-2.23	-32.36	-32.04	0.00	0.00	-34.41	-34.09	-29.19	-28.85
Pâte et papier	-1.04	-0.61	0.97	1.41	-6.62	-6.23	-17.95	-17.58	-7.53	-7.16	-0.06	0.39
Ciment	-9.32	-8.86	1.64	2.16	-20.51	-20.10	-26.93	-26.54	-12.27	-11.84	-26.96	-26.57
Fer et acier	-2.98	-2.49	1.57	2.09	-5.32	-4.83	3.60	4.14	-3.19	-2.72	-30.73	-30.35
Métaux non-ferreux	-1.49	-1.32	0.11	0.29	-6.18	-6.01	-6.16	-5.98	-7.17	-7.03	-3.58	-3.38
Produits chimiques	-1.77	-1.32	-0.08	0.41	-2.33	-1.89	0.00	0.00	-2.51	-2.08	-0.82	-0.33
Autres prod. Manufact.	0.05	0.58	0.42	0.96	-0.62	-0.12	-4.85	-4.32	-0.70	-0.20	0.10	0.65
Raffinage de pétrole	-4.92	-4.32	-1.16	-0.54	-5.28	-4.68	-27.23	-26.76	-2.99	-2.40	-6.71	-6.11
Pipelines	-22.28	-21.85	-3.19	-2.66	-32.67	-32.30	0.00	0.00	-32.94	-32.57	-11.61	-11.11
Électricité	-9.76	-9.26	0.00	0.00	-9.76	-9.26	-12.96	-12.46	2.76	3.31	3.71	4.31
Industrie du transport	-0.61	-0.07	0.02	0.57	-1.12	-0.58	0.00	0.00	-1.14	-0.62	-1.01	-0.44
Services	-0.89	-0.40	0.11	0.61	-3.16	-2.69	-2.97	-2.46	-3.19	-2.72	-2.96	-2.44

Source: Résultats de simulation

Tableau 11: Impacts sectoriels sur les émissions couvertes par le système de permis dans les simulations avec permis à 10$, avec financement par la dette, et avec/sans rigidité salariale en 2010
(Déviation en % par rapport à la situation de référence)

Grands émetteurs industriels	Variation totale en % des émissions couvertes par le système de permis		Contribution du changement de l'intensité d'émission		Contribution du changement de la production	
	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire flexible
Mines	-4.06	-3.70	-3.65	-3.69	-0.41	-0.01
Pétrole brut et gaz	-26.21	-25.86	-23.58	-24.52	-2.63	-1.34
Pâte et papier	-6.90	-6.49	-6.21	-6.81	-0.69	0.32
Ciment	-8.45	-7.93	-7.60	-7.54	-0.85	-0.39
Fer et acier	-22.21	-21.80	-19.98	-22.47	-2.23	0.67
Métaux non-ferreux	-2.21	-2.02	-1.99	-1.76	-0.22	-0.26
Produits chimiques	-1.04	-0.57	-0.94	-0.68	-0.10	0.11
Autres prod. manufact.	-0.58	-0.04	-0.52	-0.78	-0.06	0.74
Raffinage de pétrole	-5.52	-4.91	-4.97	-3.22	-0.55	-1.69
Pipelines	-24.10	-23.68	-21.68	-22.00	-2.42	-1.68
Électricité	-11.45	-10.94	-10.30	-11.21	-1.15	0.27

Source: Résultats de simulation

Tableau 12: Impacts sectoriels sur l'offre, la demande et le commerce international de produits dans les simulations avec permis à 10$, avec financement par la dette, et avec/sans rigidité salariale en 2010

(Déviation en % par rapport à la situation de référence)

Produits	Offre totale		Exportations totales		Offre sur le marché domestique		Demande intérieure totale		Importations totales	
	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire flexible
Agriculture	-0.05	0.55	0.16	0.71	-0.11	0.51	-0.12	0.51	-0.27	0.38
Mines	-0.41	-0.01	-0.24	0.11	-0.53	-0.10	-0.58	-0.14	-0.82	-0.31
Charbon	-4.71	-4.37	-3.51	-3.20	-7.40	-6.96	-8.94	-8.45	-9.10	-8.61
Pétrole brut	-1.52	-1.08	-1.29	-0.92	-1.92	-1.35	-2.07	-1.45	-2.28	-1.60
Gaz naturel	-2.49	-2.02	-1.29	-0.92	-3.87	-3.28	-3.87	-3.16	0.00	0.00
Pâte et papier	-0.16	0.32	0.02	0.42	-0.34	0.22	-0.45	0.16	-0.75	-0.01
Ciment	-0.96	-0.39	-2.53	-2.03	-0.22	0.38	-0.01	0.59	2.15	2.85
Fer et acier	0.12	0.67	0.22	0.68	0.08	0.66	0.04	0.63	-0.03	0.65
Métaux non-ferreux	-0.47	-0.26	-0.53	-0.36	-0.30	0.05	-0.15	0.28	-0.07	0.47
Produits chimiques	-0.38	0.11	-0.32	0.08	-0.41	0.13	-0.46	0.15	-0.50	0.17
Autres prod. manufact.	0.12	0.73	0.29	0.85	-0.09	0.57	-0.32	0.40	-0.48	0.28
Essence	-1.95	-1.27	-2.24	-1.73	-1.91	-1.20	-1.87	-1.14	-1.58	-0.66
Diesel	-2.23	-1.65	-2.24	-1.73	-2.23	-1.63	-2.27	-1.64	-2.23	-1.53
Prod. pétrol. liquides	-3.26	-2.73	-2.24	-1.73	-4.10	-3.55	-4.50	-3.91	-5.93	-5.33
Autres prod. pétr. raff.	-3.74	-3.21	-2.24	-1.73	-6.42	-5.86	-9.73	-9.12	-10.42	-9.82
Pipelines	-2.25	-1.70	-1.89	-1.48	-2.37	-1.78	-2.41	-1.80	-2.86	-2.08
Électricité	-0.38	0.27	0.44	1.00	-0.42	0.23	-0.43	0.22	-1.28	-0.54
Transport	-0.49	0.15	-0.24	0.35	-0.55	0.10	-0.57	0.09	-0.67	0.01
Services	-0.69	-0.06	-0.43	0.22	-0.70	-0.07	-0.71	-0.08	-0.81	-0.19

Source: Résultats de simulation

Tableau 13: Impacts les prix de quelques produits énergétiques dans les simulations avec permis à 10$, avec financement par la dette, et avec/sans rigidité salariale en 2010

(Déviation en % par rapport à la situation de référence)

Produits énergétiques	Salaire rigide	Salaire flexible
Gaz naturel	-1.31	-1.20
Essence	1.47	1.55
Diesel	1.48	1.51
Produits pétroliers liquides	-0.87	-0.84
Autres produits pétroliers raffinés	-0.55	-0.54
Électricité	-0.43	-0.38

Source: Résultats de simulation

Tableau 14: Impact sur le PIB au coût des facteurs de différentes régions du Canada dans les simulations avec des permis à 10$, avec financement par la dette, et avec/sans rigidité salariale en 2010

(Déviation en % par rapport à la situation de référence)

Bouclage marché du travail	Salaire rigide	Salaire flexible
Terre Neuve	-0.83	-0.22
Île-du-Prince-Édouard	-0.67	-0.04
Nouvelle-Écosse	-0.87	-0.24
Nouveau-Brunswick	-0.79	-0.17
Québec	-0.24	0.37
Ontario	-0.69	-0.08
Manitoba	-0.62	0.00
Saskatchewan	-0.92	-0.33
Alberta	-1.22	-0.64
Colombie Britannique et Territoires	-0.65	-0.04
Canada	-0.67	-0.06

Source: Résultats de simulation

Tableau 15: Impacts sur quelques variables agrégées dans diverses simulations en 2010
(Déviation en % par rapport à la situation de référence)

Prix du permis	10$		50$	10$
Financement de l'incidence fiscale	Dette		Dette	Taxe sur salaires
Bouclage marché du travail	Salaire rigide	Salaire flexible	Salaire rigide	Salaire rigide
PIB réel au prix du marché	-0.69	-0.06	-0.55	-0.90
PIB réel au coût des facteurs	-0.67	-0.06	-0.65	-0.85
Emploi	-0.54	0.14	-0.18	-0.76
Consommation agrégée réelle des ménages	-1.16	-0.28	-1.66	-1.84
Investissement réel total	-1.13	-0.19	-1.23	-1.49
Exportations réelles totales	-0.08	0.43	0.96	0.26
Importations réelles totales	-0.63	0.09	-0.76	-0.96

Source: Résultats de simulation

Tableau 16: Impacts à long terme (2030) sur quelques variables agrégées dans diverses simulations

(Déviation en % par rapport à la situation de référence)

Prix du permis	10$				50$		10$	
Financement de l'incidence fiscale	Dette				Dette		Taxe sur les salaires	
Bouclage marché du travail	Salaire rigide		Salaire flexible		Salaire rigide		Salaire rigide	
Années	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
PIB réel au prix du marché	-0.69	-0.85	-0.06	-0.11	-0.55	-1.01	-0.90	-1.57
PIB réel au coût des facteurs	-0.67	-0.88	-0.06	-0.16	-0.65	-1.21	-0.85	-1.59
Emploi	-0.54	-0.64	0.14	0.08	-0.18	-0.48	-0.76	-1.36
Consommation agrégée réelle des ménages	-1.16	-1.17	-0.28	-0.27	-1.66	-1.66	-1.84	-1.99
Investissement réel total	-1.13	-1.12	-0.19	-0.31	-1.23	-1.96	-1.49	-2.25
Exportations réelles totales	-0.08	-0.70	0.43	0.20	0.96	-0.46	0.26	-1.54
Importations réelles totales	-0.63	-0.85	0.09	-0.05	-0.76	-0.76	-0.96	-1.64

Source: Résultats de simulation

Tableau 17: Impacts agrégés sur les émissions dans les simulations avec permis à 10$, avec financement par la dette, et avec/sans rigidité salariale en 2010 et 2030

	2010	2030
Écart d'émission en Mt de CO2 éq.*	170	472
Réduction domestique en % de l'écart (sans les compensations)	89	35
Réduction domestique Mt CO2 éq. (sans les compensations)	151	165
Réduction due au système de permis (Mt)	38	52
Réduction due aux mesures ciblées (Mt)	82	82
Autres réductions par les ménages (Mt)	0.4	0.6
Réduction due aux puits de carbone	30	30
Achats totaux de permis par les GEI en Mt (incl. les compensations)	10	109
Achats totaux de permis par le gouvernement en Mt (incl. compensations	9	199
Achats totaux de permis	19	308
Compensations	20	20
Permis internationaux	-1	288

Source: Résultats de simulation

** Cet écart est net des 70 Mt de crédits d'émissions pour l'exportation de l'énergie propre*

Annexe : Liste des équations, paramètres et variables du modèle

1 - Ménages

1. $HTC_{t+1} = HTC_t \dfrac{(1+r)PHTC_t}{(1+\rho)PHTC_{t+1}}$

2. $(1-LS_t)\,\alpha \cdot w_t(1-tw_t) = (1-\alpha)\,PHTC_t \cdot HTC_t$

3. $DIV_{j,t} = PKE_{j,t} \cdot RK_{j,t} \cdot KT_{j,t} - PK_t \cdot JI_{j,t}$

4. $YL_t = w_t \cdot (1-tw_t) \cdot LS_t$

5. $WK_t = \sum_j Q_{j,t} KT_{j,t+1}$

6. $PHTC_t = \dfrac{1}{AC2}\left\{\theta 2^{\sigma C2} \cdot PHET_t^{1-\sigma C2} + (1-\theta 2)^{\sigma C2} \cdot PHOG_t^{1-\sigma C2}\right\}^{1/1-\sigma C2}$

7. $HET_t = AC2^{\sigma C2-1} \cdot HTC_t \cdot \left[\theta 2 \cdot \dfrac{PHTC_t}{PHET_t}\right]^{\sigma C2}$

8. $HOG_t = AC2^{\sigma C2-1} \cdot HTC_t \cdot \left[(1-\theta 2) \cdot \dfrac{PHTC_t}{PHOG_t}\right]^{\sigma C2}$

9. $PHET_t = \dfrac{1}{AC3}\left\{\theta 3^{\sigma C3} \cdot PHEF_t^{1-\sigma C3} + (1-\theta 3)^{\sigma C3} \cdot PC_H_{\text{POWER_GEN},t}^{1-\sigma C3}\right\}^{1/1-\sigma C3}$

10. $HEF_t = AC3^{\sigma C3-1} \cdot HET_t \cdot \left[\theta 3 \cdot \dfrac{PHET_t}{PHEF_t}\right]^{\sigma C3}$

11. $C_{\text{POWER_GEN},t} = AC3^{\sigma C3-1} \cdot HET_t \cdot \left[(1-\theta 3) \cdot \dfrac{PHET_t}{PC_H_{\text{POWER_GEN},t}}\right]^{\sigma C3}$

12. $PHEF_t = \dfrac{1}{AC4}\left\{\theta 41^{\sigma C4} \cdot PHRP_t^{1-\sigma C4} + \theta 42^{\sigma C4} \cdot PHTGAS_t^{1-\sigma C4} + \theta 43^{\sigma C4} \cdot PC_H_{\text{COAL},t}^{1-\sigma C4}\right\}^{1/1-\sigma C4}$

13. $C_{\text{COAL},t} = AC4^{\sigma C4-1} \cdot HEF_t \cdot \left[(\theta 43) \cdot \dfrac{PHEF_t}{PC_H_{\text{COAL},t}}\right]^{\sigma C4}$

14. $HRP_t = AC4^{\sigma C4-1} \cdot HEF_t \cdot \left[(1-\theta 41) \cdot \dfrac{PHEF_t}{PHRP_t}\right]^{\sigma C4}$

15. $HTGAS_t = AC4^{\sigma C4-1} \cdot HEF_t \cdot \left[(1-\theta 42) \cdot \dfrac{PHEF_t}{PHTGAS_t}\right]^{\sigma C4}$

16. $PHTGAS_t = \sum_{i \in gas} aijh_t \cdot PC_H_{i,t}$

17. $C_i = aijh_i \cdot HTGAS_t \quad pour \quad i \in gas$

18. $PHRP_t = \frac{1}{AC5} \prod_{i \in refined} \left\{ \left[\frac{PC_H_{i,t}}{\theta 5_i} \right]^{\theta 5_i} \right\}$

19. $C_{i,t} \cdot PC_H_{i,t} = \theta 5_i \cdot HRP_t \cdot PHRP_t \quad pour \quad i \in refined$

20. $PHOG_t = \frac{1}{AC6} \left\{ \theta 6^{\sigma C6} \cdot PHMF_t^{1-\sigma C6} + (1-\theta 6^{\sigma C6})^{\sigma C6} PHMAT_t^{1-\sigma C6} \right\}^{1/1-\sigma C6}$

21. $HMF_t = AC6^{\sigma C6-1} \cdot HOG_t \cdot \left[\theta 6 \cdot \frac{PHOG_t}{PHMF_t} \right]^{\sigma C6}$

22. $HMAT_t = AC6^{\sigma C6-1} \cdot HOG_t \cdot \left[(1-\theta 6) \cdot \frac{PHOG_t}{PHMAT_t} \right]^{\sigma C6}$

23. $PHMF_t = \frac{1}{AC7} \prod_{i \in motive} \left\{ \left[\frac{PC_H_{i,t}}{\theta 7_i} \right]^{\theta 7_i} \right\}$

24. $C_{i,t} \cdot PC_H_{i,t} = \theta 7_i \cdot HMF_t \cdot PHMF_t \quad pour \quad i \in motive$

25. $PHMAT_t = \frac{1}{AC8} \left\{ \sum_{i \in material} \theta 8_i^{\sigma C8} \cdot PC_H_{i,t}^{1-\sigma C8} \right\}^{1/1-\sigma C8}$

26. $C_{i,t} = AC8^{\sigma C8-1} \cdot HMAT_t \cdot \left[\theta 8_i \cdot \frac{PHMAT_t}{PC_H_{i,t}} \right]^{\sigma C8} \quad pour \quad i \in material$

2 - Firmes

27. $PXTS_{lfe,t} \cdot (1-tp_{lfe}) - QP_t \cdot (efy1_{lfe,t} + efy2_{lfe,t}) + SPJ_{lfe,t} + transub_{lfe,t} + tmsub_{lfe,t}$
$= \frac{1}{API_{lfe}} \left\{ \alpha 1_{lfe}^{\sigma p1_{lfe}} \cdot PINT_{lfe,t}^{1-\sigma p1_{lfe}} + (1-\alpha 1_{lfe})^{\sigma p1_{lfe}} \cdot PVAE_{lfe,t}^{1-\sigma p1_{lfe}} \right\}^{1/1-\sigma p1_{lfe}}$

28. $PXTS_{not_lfe,t} \cdot (1-tp_{not_lfe}) + transub_{not_lfe,t} + tmsub_{not_lfe,t}$
$= \frac{1}{API_{not_lfe}} \left\{ \alpha 1_{not_lfe}^{\sigma p1_{not_lfe}} \cdot PINT_{not_lfe,t}^{1-\sigma p1_{not_lfe}} + (1-\alpha 1_{not_lfe})^{\sigma p1_{not_lfe}} \cdot PVAE_{not_lfe,t}^{1-\sigma p1_{not_lfe}} \right\}^{1/1-\sigma p1_{not_lfe}}$

29. $VAE_{lfe,t} = API_{lfe}^{\sigma p1_{lfe}-1} \cdot XTS_{lfe,t} \cdot$
$\left\{ (1-\alpha 1_{lfe}) \cdot \frac{PXTS_{lfe,t}(1-tp_{lfe}) - QP_t \cdot (efy1_{lfe,t} + efy2_{lfe,t}) + SPJ_{lfe,t} + transub_{lfe,t} + tmsub_{lfe,t}}{PVAE_{lfe,t}} \right\}^{\sigma p1_{lfe}}$

$$VAE_{not_lfe,t} = API_{not_lfe}^{cpl_{not_lfe}-1} \cdot XTS_{not_lfe,t}$$

30.
$$\left\{ \left(1-\alpha l_{not_lfe}\right) \cdot \frac{PXTS_{lfe,t}\left(1-tp_{lfe}\right)+transub_{lfe,t}+tmsub_{lfe,t}}{PVAE_{not_lfe,t}} \right\}^{cpl_{lfe}}$$

$$INT_{lfe,t} = API_{lfe}^{cpl_{lfe}-1} \cdot XTS_{lfe,t} \cdot$$

31.
$$\left\{ \alpha l_{lfe} \cdot \frac{PXTS_{lfe,t}\left(1-tp_{lfe}\right)-QP_t \cdot \left(efyl_{lfe,t}+efy2_{lfe,t}\right)+SPJ_{lfe,t}+transub_{lfe,t}+tmsub_{lfe,t}}{PINT_{lfe,t}} \right\}^{cpl_{lfe}}$$

$$INT_{not_lfe,t} = API_{not_lfe}^{cpl_{not_lfe}-1} \cdot XTS_{not_lfe,t}$$

32.
$$\left\{ \alpha l_{not_lfe} \cdot \frac{PXTS_{lfe,t}\left(1-tp_{lfe}\right)+transub_{lfe,t}+tmsub_{lfe,t}}{PINT_{not_lfe,t}} \right\}^{cpl_{lfe}}$$

33. $$PVAE_{j,t} = \frac{1}{AP2_j}\left\{ \alpha 2_j^{cp2_j} \cdot PKE_{j,t}^{1-cp2_j} + \left(1-\alpha 2_j\right)^{cp2_j} \cdot \overline{w}_t^{1-cp2_j} \right\}^{1/1-cp2_j}$$

$$KE_{j,t} = AP2_j^{cp2_j-1} * VAE_{j,t}\left[\alpha 2_j \frac{PVAE_{j,t}}{PKE_{j,t}} \right]^{cp2_j}$$

34. $$LD_{j,t} = AP2_j^{cp2_j-1} * VAE_{j,t}\left[\left(1-\alpha 2_j\right)\frac{PVAE_{j,t}}{\overline{w}_t} \right]^{cp2_j}$$

35. $$RK_{j,t} = \alpha 3_j \cdot AP3_j^{-\rho 3_j}\left[\frac{KE_{j,t}}{KT_{j,t}} \right]^{1/\alpha 3_j}$$

36. $$KE_{j,t} = AP3_j\left\{ \alpha 3_j \cdot KT_{j,t}^{-\rho 3_j} + \left(1-\alpha 3_j\right) \cdot ET_{j,t}^{-\rho 3_j} \right\}^{1/\rho 3_j}$$

37. $$PET_{j,t} = \frac{1}{AP4_j}\left\{ \alpha 4_j^{cp4_j} \cdot \left[PEF_{j,t} \cdot \left(1+tmtax_{j,t}\right)\right]^{1-cp4_j} + \left(1-\alpha 4_j\right)^{cp4_j} \cdot PV_{\text{POWER_GEN},t}^{1-cp4_j} \right\}^{1/1-cp4_j}$$

38. $$EF_{j,t} = AP4_j^{cp4_j-1} \cdot ET_{j,t}\left[\alpha 4_j \cdot \frac{PET_{j,t}}{PEF_{j,t} \cdot \left(1+tmtax_{j,t}\right)} \right]^{cp4_j}$$

39. $$V_{\text{POWER_GEN},j,t} = AP4_j^{cp4_j-1} \cdot ET_{j,t}\left[\left(1-\alpha 4_j\right) \cdot \frac{PET_{j,t}}{PV_{\text{POWER_GEN},j,t}} \right]^{cp4_j}$$

40. $$PEF_{j,t} = \frac{1}{AP5_j}\left\{ \alpha 51_j^{cp5_j} \cdot PRP_{j,t}^{1-cp5_j} + \alpha 52_j^{cp5_j} \cdot PTGAS_{j,t}^{1-cp5_j} + \alpha 53_j^{cp5_j} \cdot PV_{\text{COAL},t}^{1-cp5_j} \right\}^{1/1-cp5_j}$$

41. $$RP_{j,t} = AP5_j^{cp5_j-1} \cdot EF_{j,t}\left[\alpha 51_j \cdot \frac{PEF_{j,t}}{PRP_{j,t}} \right]^{cp5_j}$$

42. $$TGAS_{j,t} = AP5_j^{\sigma p5_j - 1} \cdot EF_{j,t} \left[\alpha 52_j \cdot \frac{PEF_{j,t}}{PTGAS_{j,t}} \right]^{\sigma p5_j}$$

43. $$V_{\mathrm{COAL},j,t} = AP5_j^{\sigma p5_j - 1} \cdot EF_{j,t} \left[\alpha 53 \cdot \frac{PEF_{j,t}}{PV_{\mathrm{COAL},j,t}} \right]^{\sigma p5_j}$$

44. $$PTGAS_{j,t} = \sum_{gas} aij_{gas,j} PV_{gas,j,t}$$

45. $$V_{gas,j,t} = aij_{gas,j} TGAS_{j,t}$$

46. $$PRP_{j,t} = \frac{1}{AP6_j} \prod_{refined} \left(\frac{PV_{refined,j,t}}{\alpha 6_{refined,j}} \right)^{\alpha 6_{refined,j}}$$

47. $$PV_{refined,j,t} \cdot V_{refined,j,t} = \alpha 6_{refined,j} \cdot PRP_{j,t} \cdot RP_{j,t}$$

48. $$PINT_{j,t} = \frac{1}{AP7_j} \left\{ \alpha 7_j^{\sigma p7_j} \cdot PMF_{j,t}^{1-\sigma p7_j} + \left(1 - \alpha 7_j\right)^{\sigma p7_j} \cdot PMATER_{j,t}^{1-\sigma p7_j} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma p7_j}}$$

49. $$MF_{j,t} = AP7_j^{\sigma p7_j - 1} \cdot INT_{j,t} \cdot \left[\alpha 7_j \cdot \frac{PINT_{j,t}}{PMF_{j,t}} \right]^{\sigma p7_j}$$

50. $$MATER_{j,t} = AP7_j^{\sigma p7_j - 1} \cdot INT_{j,t} \cdot \left[\left(1 - \alpha 7_j\right) \cdot \frac{PINT_{j,t}}{PMATER_{j,t}} \right]^{\sigma p7_j}$$

51. $$PMF_{j,t} = \frac{1}{AP8_j} \left\{ \sum_{motive} \alpha 8_{motive,j}^{\sigma p8_j} \cdot PV_{motive,j,t}^{1-\sigma p8_j} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma p8_j}}$$

52. $$V_{motive,j,t} = AP8_j^{\sigma p8_j - 1} \cdot MF_{j,t} \cdot \left[\alpha 8_{motive,j} \cdot \frac{PMF_{j,t}}{PV_{motive,j,t}} \right]^{\sigma p8_j}$$

53. $$PMATER_{material,j,t} = \sum_{material} aij_{material,j} PV_{material,j,t}$$

54. $$V_{material,j,t} = aij_{material,j} MATER_{j,t}$$

55. $$KT_{j,t+1} \cdot \left(1 + n\right) = KT_{j,t} \cdot \left(1 - \delta_j\right) + INV_{j,t}$$

56. $$Q_{j,t} = \left[\beta_j^{KV} \cdot \left(\frac{INV_{j,t}}{KT_{j,t}} + 1 \right) \right] \cdot PK_t$$

57. $$Q_{j,t+1} \cdot \left(1 - \delta_j\right) = Q_{j,t} \cdot \left(1 + r\right) - PKE_{j,t+1} \cdot RK_{j,t+1} - PK_{t+1} \left[\frac{\beta_j^{KV}}{2} \right] \cdot \left[\frac{INV_{j,t+1}}{KT_{j,t+1}} \right]^2$$

58. $$PXTS_{j,t} = \frac{1}{AT_j} \sum_i \left\{ \delta t_{i,j}^{-\sigma t_j} \cdot PXXS_{j,t}^{1+\sigma t_j} \right\}^{\frac{1}{1+\sigma t_j}}$$

59. $$XYS_{i,j,t} = AT_{j,t}^{-1-\sigma_j} \cdot XTS_{j,t} \left[\frac{PXXS_{i,t}}{\delta t_{i,j} \cdot PXTS_{j,t}} \right]^{\sigma_j}$$

60. $$XXS_{i,t} = \sum_j XYS_{i,j,t}$$

3- Relations avec l'extérieur

61. $$PXXS_{i,t} = \frac{1}{AX1_i} \left\{ \delta X1_i^{-\alpha X1_i} \cdot PEX_{i,t}^{1+\alpha X1_i} + \left(1-\delta X1_i\right)^{-\alpha X1_i} \cdot PD_{i,t}^{1+\alpha X1_i} \right\}^{\frac{1}{1+\alpha X1_i}}$$

62. $$EXS_{i,t} = AX1_i^{-1-\alpha X1_i} \cdot XXS_{i,t} \left[\frac{PEX_{i,t}}{\delta X1_i \cdot PXXS_{i,t}} \right]^{\alpha X1_i}$$

63. $$XSD_{i,t} = AX1_i^{-1-\alpha X1_i} \cdot XXS_{i,t} \left[\frac{PD_{i,t}}{\left(1-\delta X1_i\right) \cdot PXXS_{i,t}} \right]^{\alpha X1_i}$$

64. $$PEX_{i,t} = \frac{1}{AX2_i} \left\{ \delta X2_i^{-\alpha X2_i} \cdot PEX_REG_{i,t}^{1+\alpha X2_i} + \left(1-\delta X2_i\right)^{-\alpha X2_i} \cdot PEX_ROW_{i,t}^{1+\alpha X2_i} \right\}^{\frac{1}{1+\alpha X2_i}}$$

65. $$EX_REG_{i,t} = AX2_i^{-1-\alpha X2_i} \cdot EXS_{i,t} \left[\frac{PEX_REG_{i,t}}{\delta X2_i \cdot PEX_{i,t}} \right]^{\alpha X2_i}$$

66. $$EX_ROW_{i,t} = AX2_i^{-1-\alpha X2_i} \cdot EXS_{i,t} \left[\frac{PEX_ROW_{i,t}}{\left(1-\delta X2_i\right) \cdot PEX_{i,t}} \right]^{\alpha X2_i}$$

67. $$\overline{PC}_{i,t} = \frac{1}{AM1_i} \left\{ \delta M1_i^{\alpha M1_i} \cdot PM_{i,t}^{1-\alpha M1_i} + \left(1-\delta M1_i\right)^{\alpha M1_i} \cdot PD_{i,t}^{1-\alpha M1_i} \right\}^{\frac{1}{1-\alpha M1_i}}$$

68. $$M_{i,t} = AM1_i^{\alpha M1_i - 1} \cdot XT_{i,t} \left[\frac{\delta M1_i \cdot \overline{PC}_{i,t}}{PM_{i,t}} \right]^{\alpha M1_i}$$

69. $$XDD_{i,t} = AM1_i^{\alpha M1_i - 1} \cdot XT_{i,t} \left[\frac{\left(1-\delta M1_i\right) \cdot \overline{PC}_{i,t}}{PD_{i,t}} \right]^{\alpha M1_i}$$

70. $$PM_{i,t} = \frac{1}{AM2_i} \left\{ \delta M2_i^{\alpha M2_i} \cdot PM_REG_{i,t}^{1-\alpha M2_i} + \left(1-\delta M2_i\right)^{\alpha M2_i} \cdot PM_ROW_{i,t}^{1-\alpha M2_i} \right\}^{\frac{1}{1-\alpha M2_i}}$$

71. $$M_REG_{i,t} = AM2_i^{\alpha M2_i - 1} \cdot M_{i,t} \left[\frac{\delta M2_i \cdot PM_{i,t}}{PM_REG_{i,t}} \right]^{\alpha M2_i}$$

72. $$M_ROW_{i,t} = AM2_i^{\sigma M2_i - 1} \cdot M_{i,t} \left[\frac{(1 - \delta M2_i) \cdot PM_{i,t}}{PM_ROW_{i,t}} \right]^{\sigma M2_i}$$

73. $$\begin{aligned} FSAV_t = & \sum_i \left[PWMREG_{i,t} \cdot M_REG_{i,t} + PWMROW_{i,t} \cdot M_ROW_{i,t} \right. \\ & \left. - PWEXREG_{i,t} \cdot EX_REG_{i,t} - PWEXROW_{i,t} \cdot EX_ROW_{i,t} \right] \\ & + QP_t \cdot (PURCHASE_t - OFFSET_t) + sh_int_row \cdot INT_PAY_t \\ & + sh_trmrdm \left[\sum_j \overline{w}_t \cdot LD_{j,t} + \sum_j DIV_{j,t} \right] + TRGROW \end{aligned}$$

74. $$(1+n) \cdot BF_{t+1} = er_t \cdot FSAV_t + (1+r) \cdot BF_t$$

4- Gouvernement[52]

75. $$\begin{aligned} YG_t = & \sum_j (tp_j \cdot PXTS_{j,t} \cdot XTS_{j,t}) + \sum_{i,j} (tv_{i,j} \cdot \overline{PC}_{i,t} \cdot V_{i,j,t}) + \sum_i (tc_i \cdot \overline{PC}_{i,t} \cdot C_{i,t}) + \sum_i (tinv_i \cdot \overline{PC}_{i,t} \cdot DINV_{i,t}) \\ & + \sum_i (tmreg_i \cdot \overline{PWMREG}_{i,t} \cdot M_REG_{i,t}) + \sum_i (tmrow_i \cdot \overline{PWMROW}_{i,t} \cdot M_ROW_{i,t}) \\ & + \sum_i (texreg_i \cdot \overline{PWEXREG}_{i,t} \cdot EX_REG_{i,t}) + \sum_i (texrow_i \cdot \overline{PWEXROW}_{i,t} \cdot EX_ROW_{i,t}) \\ & + tym \cdot YL_t + tw_t \cdot LS_t \cdot w_t + TAXFOR_t + tyk \cdot (1-\mu) \sum_j DIV_{j,t} + \mu \sum_j DIV_{j,t} \end{aligned}$$

76. $$DCG_t = \sum_i (\overline{PC}_{i,t} \cdot CG_{i,t})$$

77. $$\begin{aligned} GSAV_t = & YG_t - DCG_t - TRGM_t - TRGROW_t - INT_PAY_t - QP_t \cdot GPURCH_t \\ & - \sum_j AP_COST_{j,t} - \sum_j TM_COST_{j,t} - APT_COST_t - TMT_COST_t \\ & - (QOFF_t - QP_t) \cdot OFFSET_t \end{aligned}$$

78. $$TRGM_t = TRGM_t^0 \left\{ 1 + \varepsilon p_t \left[\frac{IPC_t - IPC_t^0}{IPC_t^0} \right] + \varepsilon l_t \left[\frac{\sum_j LD_{j,t} - \sum_j LD_{j,t}^0}{\sum_j LD_{j,t}^0} \right] + \varepsilon w_t \left[\frac{\overline{w}_t - \overline{w}_t^0}{\overline{w}_t^0} \right] \right\}$$

79. $$INT_PAY_t = irate_t \cdot DEBT_t$$

80. $$(1+n) \cdot DEBT_{t+1} = (1 + irate_t) \cdot DEBT_t - PRIM_GOV_BAL_t$$

81. $$(1+n) \cdot DEBT_{t_cst+1} = D_GDP_RATIO_{t_cst} \cdot GDP_PM_{t_cst}$$

82. $$PRIM_GOV_BAL_t = GOV_BAL_t + INT_PAY_t$$

83. $$GOV_BAL_t = GSAV_t + \kappa_t \cdot GDP_PM_t$$

---

[52] Notez que le taux d'intérêt payé sur la dette publique est différent du taux d'intérêt mondial utilisé dans le modèle.

$$GDP_PM_t = \sum_i PC_H_{i,t} \cdot C_{i,t} + \sum_i \overline{PC}_{i,t} \cdot (1 + tinv_t) \cdot DINV_{i,t} + \sum_i \overline{PC}_{i,t} \cdot DSTK_{i,t}$$

84. $$+ \sum_i \overline{PC}_{i,t} \cdot GC_{i,t} + \sum_i \overline{PWEXREG}_i \cdot EX_REG_{i,t} + \sum_i \overline{PWEXROW}_i \cdot EX_ROW_{i,t}$$
$$- \sum_i \overline{PWMREG}_i \cdot M_REG_{i,t} + \sum_i \overline{PWMROW}_i \cdot M_ROW_{i,t}$$

5- Autres composantes de la demande

85. $$XT_{i,t} = C_{i,t} + DINV_{i,t} + DSTK_{i,t} + GC_{i,t} + \sum_j V_{i,j,t} + KAPGREEN_{i,t}$$

86. $$\overline{PC}_{\text{OTHER_MAN},t} \cdot KAPGREEN_{\text{OTHER_MAN},t} = \sum_j AP_COST_{j,t} + \sum_j TM_COST_{j,t} + APT_COST_t + TMT_COST_t$$

87. $KAPGREEN_{i,t} = 0$ *pour* $i \neq$ OTHER_MAN

88. $$JI_{j,t} = INV_{j,t} + \frac{\beta_j^{KV} \cdot INV_{j,t}^2}{2 \cdot KT_{j,t}}$$

89. $$TJ_t = \sum_j JI_{j,t}$$

90. $$DINV_{i,t} = \beta_i^K \cdot TJ_t$$

6 - Prix

91. $$PM_REG_{i,t} = PWMREG_{i,t} \cdot er_t \cdot (1 + tmreg_i)$$

92. $$PM_ROW_{i,t} = PWMROW_{i,t} \cdot er_t \cdot (1 + tmreg_i)$$

93. $$PEX_REG_{i,t} \cdot (1 + texreg_i) = PWEXREG_{i,t} \cdot er_t$$

94. $$PEX_ROW_{i,t} \cdot (1 + texrow_i) = PWEXROW_{i,t} \cdot er_t$$

95. $$PV_{not_motive,j,t} = \overline{PC}_{not_motive,t} \cdot (1 + tv_{not_motive,j}) + QP_t \cdot efv_{not_motive,j,t}$$

96. $$PV_{\text{DIESEL},j,t} = \overline{PC}_{\text{DIESEL},t} \cdot (1 + tv_{\text{DIESEL},j}) + QP_t \cdot efv_{\text{DIESEL},j,t} \cdot F_shlhfo_j + transtax_t \cdot efvt_{\text{DIESEL},j,t} \cdot (1 - F_shlhfo_j)$$

97. $$PV_{\text{GASOLINE},j,t} = \overline{PC}_{\text{GASOLINE},t} \cdot (1 + tv_{\text{GASOLINE},j}) + transtax_t \cdot efvt_{\text{GASOLINE},j,t}$$

98. $$PV_{not_motive,j,t} = \overline{PC}_{not_motive,t} \cdot (1 + tv_{not_motive,j})$$

99. $$PC_H_{motive,t} = \overline{PC}_{motive,t} \cdot (1 + tc_{motive}) + transtax_t \cdot efh_{motive,t}$$

100. $$PC_H_{not_motive,t} = \overline{PC}_{not_motive,t} \cdot (1 + tc_{not_motive})$$

101. $$PK_t = \sum_i \overline{PC}_{i,t} \cdot (1 + tinv_i) \cdot \beta_i^K$$

102. $$IPC_t = \frac{\sum_i C_i^0 \cdot PC_H_{i,t}}{\sum_i C_i^0 \cdot PC_H_{i,t}^0}$$

7 – Émissions et achats de permis

103. $$F_DET_{lfe,t} = \sum_{not_motive} efv_{not_motive,lfe,t} \cdot V_{not_motive,lfe,t} + efv_{\mathrm{DIESEL},lfe,t} \cdot V_{\mathrm{DIESEL},lfe,t} \cdot F_shlhfo_{lfe} + efy1_{lfe,t} \cdot XTS_{lfe,t} + efy2_{lfe,t} \cdot XTS_{lfe,t}$$

104. $$F_TM_{j,t} = F_TM_{j,t}^{BAU} - RED_F_{j,t} - ACT_PLAN_{j,t}$$

105. $$F_TM_TRANS_t = F_TM_TRANS_t^{BAU} - RED_TRANS_t - ACT_TRANS_t$$

106. $$H_TM_t = \sum_{not_motive} efh_{not_motive,t} \cdot C_{not_motive,t}$$

107. $$LFEPURCH_t = \sum_{lfe} F_DET_{lfe,t} - LFE_RGH_t$$

108. $$PURCHASE_t = \sum_{lfe} F_DET_{lfe,t} + \sum_j F_TM_{j,t} + H_TM_t + F_TM_TRANS_t + GHG_AU_t - GHG_RIGHT_t - SINKS_t$$

109. $$GPURCH_t = PURCHASE_t - LFEPURCH_t$$

8 - Équilibre

Détermination du niveau de l'incitatif à la production lié aux permis gratuits

110. $$QP_t \cdot \alpha_t^F \cdot \beta_{lfe,t}^J \cdot XST_{lfe,t} = SPJ_{lfe,t} \cdot XST_{lfe,t}$$

Détermination du facteur uniforme de correction des cibles assignées d'intensité d'émission

111. $$\alpha_t^F \cdot \sum_{lfe} \beta_{lfe,t}^J \cdot XST_{lfe,t} = LFE_RGH_t$$

Détermination du taux endogène de pénalité implicite sur la consommation des combustibles 'moteurs' utilisés par les firmes pour le transport dans le cadre des mesures ciblées

112. $$APT_COST_t + TMT_COST_t = transtax_t \cdot \left\{ \sum_j \left[efv_{\mathrm{DIESEL},j,t} \cdot \left(1 - F_SHLHFO_j\right) \cdot V_{\mathrm{DIESEL},j,t} + efv_{\mathrm{GASOLINE},j,t} \cdot V_{\mathrm{GASOLINE},j,t} \right] + \sum_{motive} efh_{motive,t} \cdot C_{motive,t} \right\}$$

Détermination de la subvention implicite sur la production relative au transport dans le cadre des mesures ciblées

113. $$transub_{j,t} \cdot XTS_{j,t} = transtax_t \cdot \left\{ \sum_j \left[efv_{\text{DIESEL},j,t} \cdot \left(1 - F_SHLHFO_j\right) \cdot V_{\text{DIESEL},j,t} + efv_{\text{GASOLINE},j,t} \cdot V_{\text{GASOLINE},j,t} \right] \right\}$$

Détermination de la pénalité implicite sur la consommation des combustibles 'moteurs' utilisés par les ménages pour le transport dans le cadre des mesures ciblées

114. $$TRANSUB_H_t + TMT_COST_t = transtax_t \cdot \sum_{motivr} efh_{motive,t} \cdot C_{motive,t}$$

Détermination du taux endogène de pénalité implicite sur la consommation de l'énergie les firmes dans le cadre des mesures ciblées

115. $$AP_COST_{j,t} + TM_COST_{j,t} = tmtax_{j,t} \cdot PEF_{j,t} \cdot EF_{j,t}$$

Détermination de la subvention implicite sur la production relative dans le cadre des mesures ciblées

116. $$AP_COST_{j,t} + TM_COST_{j,t} = tmsub_{j,t} \cdot XST_{j,t}$$

Équilibre sur le marché du produit domestique

117. $$XSD_{i,t} = XDD_{i,t}$$

Rigidité des salaires

118. $$\overline{w}_t = \lambda_t \cdot w_t$$

Équilibre sur le marché du travail

119. $$\sum_j LD_{j,t} + UNEMPL_t = LS_t$$

Contrainte budgétaire globale de l'économie[53]

[53] Cette contrainte est une autre traduction de l'identité macroéconomique selon laquelle les injections du flux circulaire des revenus est égale aux fuites. Les firmes ayant elles-mêmes financé leurs dépenses d'investissement, cette expression combine les épargnes des ménages (contrainte budgétaire des ménages du problème de maximisation intertemporelle) du gouvernement et du reste du monde.

$$
\begin{aligned}
F_{t+1}(1+n) = {} & F_t\,(1+r) + (1-tym\;)\cdot YL_t + TRGM_t + (1-sh_int_row)\cdot INT_PAY_t \\
& - er_t \cdot sh_trmrdm\left[\sum_j \overline{w}_t \cdot LD_{j,t} + \sum_j DIV_{j,t}\right] - tyk\cdot(1-\mu)\cdot\sum_j DIV_{j,t} \\
& - \mu\cdot\sum_j DIV_{j,t} - PHTC_t \cdot HTC_t - \sum_i \overline{PC}_{i,t}\cdot DSTKO_t + GSAV_t + TRANSUB_H_t \\
& + QP_t \cdot LFE_RGH_t + QOFF_t \cdot OFFSET_t - TAXFOR_t
\end{aligned}
\qquad (120.)
$$

Définition de la richesse financière totale des ménages

121. $F_t = WK_t - BF_t$

9- État régulier

122. $Q_{j,t}\cdot(\delta_j + r) = PKE_{j,t}\cdot RK_{j,t} + PK_t\left[\frac{\beta_j^{KV}}{2}\right]\cdot\left[\frac{INV_{j,t}}{KT_{j,t}}\right]^2$

$$
\begin{aligned}
PHTC_t \cdot HTC_t = {} & F_t\,(r-n) - \sum_i \overline{PC}_{i,t}\cdot DSTKO_t - er_t\, sh_trmrdm\left[\sum_j \overline{w}_t \cdot LD_{j,t} + \sum_j DIV_{j,t}\right] \\
& - \mu\sum_j DIV_{j,t} - tyk(1-\mu)\sum_j DIV_{j,t} + (1-tym\;)YL_t + TRGM_t \\
& + (1-sh_int_row)INT_PAY_t + GSAV_t + TRANSUB_H_t \\
& + QP_t \cdot LFE_RGH_t + QOFF_t \cdot OFFSET_t - TAXFOR_t
\end{aligned}
\qquad (123.)
$$

124. $WK_t = \sum_j Q_{j,t}\cdot KT_{j,t}$

125. $BF_t \cdot (n - r) = FSAV_t$

126. $DEBT_t \cdot (1+n) = D_GDP_RATE_t^{BAU}\cdot GDP_PM_t$

Définition des paramètres

α	Paramètre de distribution entre le loisir et la consommation
$AC2$	Paramètre d'échelle de la fonction CES de la consommation agrégée des ménages
$AC3$	Paramètre d'échelle de la fonction CES de la demande d'énergie totale des ménages
$AC4$	Paramètre d'échelle de la fonction CES de la demande de combustibles fossiles des ménages
$AC5$	Paramètre d'échelle de la fonction Cobb-Douglas de la demande de produits pétroliers raffinés des ménages
$AC6$	Paramètre d'échelle de la fonction CES (produits non énergétiques)
$AC7$	Paramètre d'échelle de la fonction Cobb-Douglas de la demande de combustibles moteurs des ménages
$AC8$	Paramètre d'échelle de la fonction CES de la demande des autres produits de consommation des ménages
$\theta 2$	Paramètre de distribution de la fonction CES (consommation totale)
$\theta 3$	Paramètre de distribution de la fonction CES (énergie totale)
$\theta 41$	Paramètre de distribution de la fonction CES (pétrole raffiné)
$\theta 42$	Paramètre de distribution de la fonction CES (gaz naturel)
$\theta 43$	Paramètre de distribution de la fonction CES (charbon)
$\theta 5_{refined}$	Paramètre de distribution de la fonction Cobb-Douglas (pétrole raffiné)
$\theta 6$	Paramètre de distribution de la fonction CES (produits non énergétiques)
$\theta 7_{motive}$	Paramètre de distribution de la fonction Cobb-Douglas (combustibles moteurs)
$\theta 8_{material}$	Paramètre de distribution de la fonction CES (autres produits de consommation)
$aijh_{gas}$	Paramètre de la fonction Leontief du gaz pour les ménages (gaz naturel et transport de gaz)
$\sigma C2$	Élasticité de substitution de la fonction CES (consommation agrégée des ménages)
$\sigma C3$	Élasticité de substitution de la fonction CES (consommation énergie totale des ménages)
$\sigma C4$	Élasticité de substitution de la fonction CES (consommation de combustibles fossiles des ménages)
$\sigma C6$	Élasticité de substitution de la fonction CES (consommation de produits non-énergétiques des ménages)
$\sigma C8$	Élasticité de substitution de la fonction CES (consommation autres produits de consommation des ménages)
$AP1_j$	Paramètre d'échelle dans le premier niveau de la fonction CES de production
$AP2_j$	Paramètre d'échelle dans la fonction CES de la valeur ajoutée-énergie
$AP3_j$	Paramètre d'échelle dans la fonction CES de capital-énergie

$AP4_j$	Paramètre d'échelle dans la fonction CES de l'énergie totale
$AP5_j$	Paramètre d'échelle dans la fonction CES de l'énergie fossile
$AP6_j$	Paramètre d'échelle dans la fonction C-D de produits pétroliers raffinés
$AP7_j$	Paramètre d'échelle dans la fonction CES de l'agrégat matériaux et combustibles fossiles moteurs
$AP8_j$	Paramètre d'échelle dans la fonction C-D de produits combustibles fossiles moteurs
$\alpha 1_{lfe}$	Paramètre de distribution dans le premier niveau de la fonction CES de production
$\alpha 2_{lfe}$	Paramètre de distribution dans la fonction CES de la valeur ajoutée-énergie
$\alpha 3_{lfe}$	Paramètre de distribution dans la fonction CES de capital-énergie
$\alpha 4_{lfe}$	Paramètre de distribution dans la fonction CES de l'énergie totale
$\alpha 51_{lfe}$	Paramètre de distribution dans la fonction CES de l'énergie fossile
$\alpha 52_{lfe}$	Paramètre de distribution dans la fonction CES de l'énergie fossile
$\alpha 53_{lfe}$	Paramètre de distribution dans la fonction CES de l'énergie fossile
$\alpha 6_{lfe}$	Paramètre de distribution dans la fonction C-D de produits pétroliers raffinés
$\alpha 7_{lfe}$	Paramètre de distribution dans la fonction CES de l'agrégat matériaux et combustibles fossiles moteurs
$\alpha 8_{lfe}$	Paramètre de distribution dans la fonction C-D de produits combustibles fossiles moteurs
$\sigma P1_j$	Élasticité de substitution de la fonction de production CES de l'output
$\sigma P2_j$	Élasticité de substitution de la fonction CES de l'agrégat valeur ajoutée-énergie
$\sigma P3_j$	Élasticité de substitution de la fonction CES de l'agrégat capital-énergie
$\sigma P4_j$	Élasticité de substitution de la fonction CES de l'agrégat énergie totale
$\sigma P5_j$	Élasticité de substitution de la fonction CES de l'agrégat énergie fossile
$\sigma P7_j$	Élasticité de substitution de la fonction CES de l'agrégat matériaux et combustibles fossiles moteurs
$\sigma P8_j$	Élasticité de substitution de la fonction CES de l'agrégat des combustibles fossiles moteurs
$efy1_{lfe,t}$	Émissions de $CO2$ (n'émanant pas de la combustion) par unité efficiente d'output liée au processus de production de l'industrie lfe (en tonnes de $CO2$)
$efy2_{lfe,t}$	Émissions de méthane et oxyde d'azote CH_4 et NO_x par unité efficiente d'output liée au processus de production de l'industrie lfe (en tonnes de $CO2$)
AT_j	Paramètre d'échelle de la fonction CET de transformation de la production de la firme j en produits
σt_j	Élasticité de substitution de la fonction CET de transformation de la production de la firme j en produits

$\delta t_{i,j}$	Paramètre de distribution dans la fonction CET de transformation de la production de la firme j en produits
$AX1_i$	Paramètre d'échelle de la fonction CET de premier niveau de transformation de l'offre totale du produit i
$\sigma X1_i$	Élasticité de la fonction CET de premier niveau de transformation de l'offre totale du produit i
$\delta X1_i$	Paramètre de distribution de la fonction CET de premier niveau de transformation de l'offre totale du produit i
$AX2_i$	Paramètre d'échelle de la fonction CET de deuxième niveau de transformation de l'offre totale du produit i
$\sigma X2_i$	Élasticité de la fonction CET de deuxième niveau de transformation de l'offre totale du produit i
$\delta X2_i$	Paramètre de distribution de la fonction CET de deuxième niveau de transformation de l'offre totale du produit i
$AM1_i$	Paramètre d'échelle de la fonction CES de premier niveau de la demande totale du produit i
$\sigma M1_i$	Élasticité de la fonction CES de premier niveau de la demande totale du produit i
$\delta M1_i$	Paramètre de distribution de la fonction CES de premier niveau de la demande totale du produit i
$AM2_i$	Paramètre d'échelle de la fonction CES de deuxième niveau de la demande totale du produit i
$\sigma M2_i$	Élasticité de la fonction CES de deuxième niveau de la demande totale du produit i
$\delta M2_i$	Paramètre de distribution de la fonction CES de deuxième niveau de la demande totale du produit i
εp_i	Élasticité des transferts gouvernementaux aux ménages par rapport à l'indice de prix
εw_i	Élasticité des transferts gouvernementaux aux ménages par rapport au taux de salaire
εl_i	Élasticité des transferts gouvernementaux aux ménages par rapport au niveau d'emploi
F_shlhfo_j	Part des huiles légères et Lourdes dans le produit Diesel dans la situation de référence
$efv_{i,j,s}$	Facteur d'émission du combustible fossile i utilisé dans l'industrie j ajusté pour tenir compte de l'efficience énergétique
$efy1_{j,s}$	Facteur d'émissions de CO2 liées au processus de production dans l'industrie ajusté pour tenir compte de l'efficience énergétique
$efy2_{j,s}$	Facteur d'émissions de CH4-NOx (exprimées en CO2 éq.) liées au processus de production dans l'industrie ajusté pour tenir compte de l'efficience énergétique
$efh_{i,s}$	Facteur d'émission du combustible fossile i utilisé par les ménages pour tenir compte de l'efficience énergétique
$\beta^j_{j,s}$	Cible assignée d'intensité d'émissions
μ	Part des dividendes versés aux gouvernements
n	Taux de croissance de la population incluant le progrès technologique neutre à la Harrod
ρ	Taux de préférence pour le temps
sh_int_row	Part des paiements d'intérêts sur la dette publique versée aux étrangers
sh_trm_rdm	Part des revenus des ménages versés aux étrangers

tp_j	Taux de taxe sur l'output de l'industrie j
tym	Taux de taxe sur le revenu de travail des ménages
tyk	Taux moyen de taxe sur les dividendes versés aux ménages
β_j^{KV}	Paramètre de coût d'ajustement dans l'investissement des firmes
β_i^K	Paramètre de la fonction Leontief définissant l'investissement total des firmes par rapport aux biens d'investissement
λ_t	Marge entre le salaire payé par les firmes et le coût d'opportunité du loisir des ménages
tc_i	Taux de taxe sur la consommation du produit i par les ménages
$tinv_i$	Taux de taxe sur le produit d'investissement i
$tmreg_i$	Taux de taxe sur les importations du produit i en provenance des États-Unis
$tmrow_i$	Taux de taxe sur les importations du produit i en provenance du reste du monde
$texrow_i$	Taux de taxe sur les exportations du produit i à destination du reste du monde
$tv_{i,j}$	Taux de taxe sur le produit i utilisé comme consommation intermédiaire par l'industrie j
κ_t	Rapport du solde du compte capital du gouvernement par rapport au PIB au prix du marché courant

Définition des variables

Variables endogènes

YL_t	Revenu de travail des ménages
F_t	Richesse financière totale des ménages
WK_t	Valeur totale des firmes
HEF_t	Consommation de combustibles fossiles des ménages
HET_t	Consommation d'énergie totale des ménages
HMF_t	Consommation de combustibles moteurs ('mobiles') des ménages
$HMAT_t$	Consommation de produits de consommation non énergétiques des ménages
HOG_t	Consommation d'autres produits de consommation des ménages
HRP_t	Consommation de produits du pétrole raffiné des ménages
HTC_t	Consommation totale des ménages
$HTGAS_t$	Consommation du produit agrégé 'gaz' (gaz naturel et transport de gaz) des ménages
LS_t	Offre de travail
$UNEMPL_t$	Excès d'offre de travailleurs
$C_{i,t}$	Demande de consommation des ménages pour le produit i
H_TM_t	Émissions des ménages
$DIV_{j,t}$	Dividendes versés par l'industrie j
$DINV_{i,t}$	Demande du bien d'investissement i
$XTS_{j,t}$	Output de l'industrie j
$RK_{j,t}$	Productivité marginale physique du capital
$INT_{j,t}$	Agrégat de consommations intermédiaires de la firme j
$MATER_{j,t}$	Agrégat de consommations intermédiaires non-énergétiques de la firme j
$VAE_{j,t}$	Agrégat valeur ajoutée-énergie de la firme j
$KE_{j,t}$	Agrégat capital-énergie de la firme j
$KT_{j,t}$	Stock de capital physique de la firme j
$LD_{j,t}$	Demande de travail de l'industrie j
$ET_{j,t}$	Demande d'énergie totale de la firme j
$EF_{j,t}$	Demande d'énergie fossile de la firme j
$RP_{j,t}$	Intrant agrégé de produits pétroliers raffinés de la firme j
$TGAS_{j,t}$	Intrant agrégé de consommation de gaz de la firme j
$MF_{j,t}$	Demande de combustibles moteurs de la firme j
$INV_{j,t}$	Demande d'investissement de la firme (sans coût d'ajustement)
$JI_{j,t}$	Demande d'investissement de la firme y compris coût d'ajustement

TJ_t	Investissement total en volume (y compris coût d'ajustement)
$V_{i,j,t}$	Intrant intermédiaire i utilisé par la firme j
$XXS_{i,t}$	Offre totale du produit i
$XDD_{i,t}$	Demande du produit domestique i
$XSD_{i,t}$	Offre du produit domestique i
$XT_{i,t}$	Demande intérieure totale du produit i
$XYS_{i,j,t}$	Offre du produit i par la firme j
$EXS_{i,t}$	Exportations totales du bien i
$EXREG_{i,t}$	Exportations du bien i vers les États-Unis
$EXROW_{i,t}$	Exportations du bien i vers le reste du monde
$M_{i,t}$	Importations totales du bien i
$MREG_{i,t}$	Importations du bien i en provenance les États-Unis
$MROW_{i,t}$	Importations du bien i en provenance du reste du monde
YG_t	Revenu du gouvernement
DCG_t	Dépenses de consommation du gouvernement
$TRANSUB_H_t$	Transferts publics aux ménages pour mesures ciblées liées au transport
$TRGM_t$	Transferts publics aux menages
INT_PAY_t	Intérêts sur la dette publique
$GSAV_t$	Épargne du gouvernement
GOV_BAI_t	Solde budgétaire du gouvernement
$PRIM_GOV_BAL_t$	Solde budgétaire primaire du gouvernement
$DEBT_t$	Dette du gouvernement
LFE_RGH_t	Nombre total de permis gratuits à distribuer aux GEI
$LFEPURCH_t$	Achats totaux de permis par les GEI
$GPURCHAS_t$	Achats de permis par le gouvernement
$F_DET_{j,t}$	Émissions couvertes par le système de permis dans la firme j
$F_TM_{j,t}$	Émissions couvertes par les mesures ciblées non liées aux activités de transport dans la firme j
$F_TM_TRANS_{j,t}$	Émissions couvertes par les mesures ciblées liées aux activités de transport dans la firme j
$KAPGREEN_{i,t}$	Demande d'investissement en bien capital liée aux mesures ciblées
α_t^F	Facteur de correction des cibles assignées d'intensité d'émissions
$FSAV_t$	Épargne du reste du monde
BF_t	Stock de dette extérieure
GDP_PM_t	PIB au prix du marché
$IPCINDEX_t$	Indice Laspeyres des prix à la consommation des ménages
$PEX_{i,t}$	Indice de prix des biens exportés

$PEXREG_{i,t}$	Prix reçu par le producteur pour le bien i exporté vers les États-Unis
$PEXROW_{i,t}$	Prix reçu par le producteur pour le bien i exporté vers le reste du monde
$PM_{i,t}$	Indice de prix des biens importés
$PMREG_{i,t}$	Prix du bien i importé des États-Unis (droits de douanes compris)
$PWMROW_{i,t}$	Prix du bien i importé du reste du monde (droits de douanes non-compris)
$PWMREG_{i,t}$	Prix du bien i importé des États-Unis (droits de douanes non-compris)
$PMROW_{i,t}$	Prix du bien i importé du reste du monde (droits de douanes compris)
$PXXS_{i,t}$	Indice de prix au producteur du produit i
$\overline{PC}_{i,t}$	Prix composite du bien i sans la taxe (payée par l'acheteur)
$PC_H_{i,t}$	Prix à la consommation payé par les ménages du produit i (taxes incluses)
$PD_{i,t}$	Prix du bien domestique i
$PV_{i,j,t}$	Prix de l'intrant intermédiaire i (taxes incluses) utilisé par la firme j
$PMF_{j,t}$	Indice de prix des combustibles moteurs de la firme j
$PTGAS_{j,t}$	Prix de l'intrant agrégé de consommation de gaz de la firme j
$PRP_{j,t}$	Indice de prix de produits pétroliers raffinés de la firme j
$PEF_{j,t}$	Indice de prix du composite d'énergie fossile de la firme j
$PHEF_t$	Indice de prix des combustibles fossiles payés par le ménage
$PHET_t$	Indice de prix de l'énergie totale payés par le ménage
$PHMF_t$	Indice de prix des combustibles moteurs ('mobile') payés par le ménage
$PHMAT_t$	Indice de prix des produits de consommation non-énergétiques payés par le ménage
$PHOG_t$	Indice de prix des produits de consommation non énergétiques payés par le ménage
$PHRP_t$	Indice de prix des produits du pétrole raffiné payés par le ménage
$PHTC_t$	Indice de prix de la consommation totale des ménages
$PHTGAS_t$	Indice de prix des produits du gaz payé par le ménage
$PINT_{j,t}$	Indice de prix des intrants intermédiaires non-énergétiques de la firme j
PK_t	Indice de prix d'achat du bien composite capital
$PKE_{j,t}$	Indice de prix du composite capital-énergie
$PXTS_{j,t}$	Prix de l'output de l'industrie j
$PVAE_{j,t}$	Indice de prix valeur ajoutée-énergie de la firme j
$PMATER_{j,t}$	Indice de prix des consommations intermédiaires non-énergétiques de la firme j
$PET_{j,t}$	Indice de prix de l'agrégat énergie totale de la firme j
$Q_{j,t}$	Prix de référence du capital dans la firme j
w_t	Taux de salaire reçu par les ménages
$\overline{w}_t$	Taux de salaire (rigide) payé par les firmes
$spi_{ife,t}$	Subvention implicite liée aux permis gratuits offerts par unité d'output à l'industrie ife

$tmsub_{j,t}$	Subvention implicite sur la production à l'industrie *j* pour mesures ciblées par unité d'output
$transub_{j,t}$	Subvention implicite sur la production à l'industrie j pour mesures ciblées liées aux activités de transport par unité d'output
$tmtax_{j,t}$	Taux endogène de taxe implicite sur la consommation de l'énergie les firmes dans le cadre des mesures ciblées
$transtax_{i,t}$	Pénalité implicite (endogène) sur la consommation des combustibles moteurs utilisés par les ménages pour le transport dans le cadre des mesures ciblées (par unité)

Variables exogènes

r	Taux d'intérêt mondial
$OFFSET_t$	Crédits d'émissions relatifs aux compensations
$QOFF_t$	Prix d'achat des crédits de compensation
QP_t	Prix international du permis d'émission
er_t	Taux de change nominal
$GC_{i,t}$	Consommation du produit *i* par le gouvernement
$irate_t$	Taux d'intérêt payé sur la dette publique
$F_TM_{j,t}^{BAU}$	Émissions totales couvertes par les mesures ciblées l'industrie j dans la situation de référence
$GHG_AU_BAU_t$	Autres émissions de GES dans la situation de référence
GHG_RIGHT_t	Cible d'émissions totales de GES du Canada fixée par Kyoto
$SINKS_t$	Crédits pour puits de carbone
$DSTK_{i,t}$	Variation de stock dans la demande finale du produit *i* (volume)
tw_t	Taux de taxe sur le taux de salaire (exogène selon le scénario)
$TAXFOR_t$	Taxe forfaitaire sur le revenu des ménages (selon le scénario)

Définition des indices utilisés pour représenter les éléments de divers ensembles et sous-ensembles

Produits

i : tous les produits
POWER_GEN : produit électricité
COAL : produit charbon
gas : produits 'Gaz naturel' et 'Pipelines'
refined : produits pétroliers raffinés
motive : produits définis comme 'combustibles moteurs'
material: produits non-énergétiques

Industries
j : toutes les industries
ffe : industries appartenant au groupe des GEI
not_ffe : industries n'appartenant pas au groupe des GEI